

Arto Latvala

KATTILA 3:N SÄILÖNTÄ

KATTILA 3:N SÄILÖNTÄ

Arto Latvala
Opinnäytetyö
Kevät 2015
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka, energiatekniikka

Tekijä: Arto Latvala

Opinnäytetyön nimi: Kattila 3:n säilöntä

Työn ohjaaja: Jukka Ylikunnari

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2015 Sivumäärä: 72 + 4 liitettä

Aiheena oli kattilalaitoksen säilöntä, josta työn tilaaja Raahen Voima tarvitsi lisäinformaatiota kattilalaitoksella tulevaisuudessa käytettävään säilöntämenetelmään. Tilaajalla oli säilöntätarjoukset märkä- ja kuivailmasäilönnästä, joita työssä vertailtiin. Säilöntämenetelmien keskeisenä tavoitteena oli säilönnän pitkäaikainen onnistuvuus. Kattila tullaan säilömään viideksi vuodeksi yhden vuoden sykleihin jaettuna.

Työssä vertailtiin säilöntämenetelmien toimivuutta ja käytännön toteutusta. Tilaaja sai lisätietoja eri näkökulmista märkä- ja kuivailmasäilönnän toteutukseen. Työssä perehdyttiin teoriatasolla säilöntöjen toteutukseen ja siihen, kuinka ne soveltuvat tilaajan kattilalaitokselle.

Märkä- ja kuivailmasäilöntämenetelmät ovat käyttökelpoisia säilöntämenetelmiä, kunhan ne toteutetaan tarkasti, huolellisesti ja kunnolla huomioiden työssä esitellyt ongelmat. Menetelmien toteutusta vertailtaessa todettiin märkäsäilönnän olevan kattilalaitokselle sopivampi ratkaisu, mikäli järjestelmiin ei tehdä ylimääräisiä tyhjennyksiä. Kuivasäilönnässä laitoksen järjestelmä on saatava täydellisesti kuivaksi, minkä todettiin olevan haastavaa ja työlästä.

Tilaajalle osoitettiin säilöntöjen ongelmakohdat ja erityiset huomiot. Säilöntäfluidin hyvä kierrätys höyrystinosassa on haastavaa kattilan rakenteen johdosta. Savu-, ilmanakanavat ja tulipintojen säilöntä ovat osittain märkäsäilönnän piirissä ja kokonaan kuivailmasäilönnän piirissä. Ongelmakohdaksi märkä- ja kuivasäilönnässä muodostui talviajan kylmyys. Lämmönlähteen poistuttua kylmyys pääsee vaikuttamaan laitteisiin. Kattilan muut laitteet, jotka eivät ole säilönnän piirissä, voivat jäätä. Opinnäytetyöpalaverissa tilaaja ymmärsi ilmasto-ongelman, johon ei opinnäytetyössä ei voitu vaikuttaa.

Asiasanat: säilöntä, kattila, korroosio, höyry, vesi

ALKULAUSE

Kiitän Raahen Voiman käyttöpäällikkö Juha Vuolteenahoa opinnäytetyön tarjoamisesta ja laboratorioanalyttikko Satu Hukkasta erinomaisista kattilalaitosten vesikemian materiaaleista. Kattilalaitosten säilöntä on aina sovellettava teollisuuden alalla ja relevanttien materiaalien löytäminen ei ole helppointa. Toivon työssä oppimistani asioista olevan käytännön hyötyä vielä tulevaisuudessa.

Oulussa 3.5.2015

Arto Latvala

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	8
2 RAAHEN VOIMAN VOIMALAITOS	9
3 ENERGIANTUOTANTO	10
3.1 Energia Suomessa	10
3.2 Kattilatyypit	10
3.2.1 Suurvesikattila	10
3.2.2 Luonnonkiertokattila	11
3.2.3 Pakkokiertokattila	13
3.2.4 Lämpivirtauskattila	14
4 KATTILALAITOKSEN KOMPONENTIT	15
4.1 Materiaalit	15
4.2 Syöttövesisäiliö	15
4.3 Syöttövesipumppu	17
4.4 Syöttöveden esilämmittimet	18
4.5 Lieriö	20
4.6 Höyrystin	21
4.7 Tulistin	22
4.8 Tulistimien lämpötilansäätö	24
4.9 Tulipintojen puhdistuslaitteet	24
4.10 Puhaltimet	25
4.11 Ilmanesilämmitin	26
4.12 Polttoaineen esilämmitin	27
5 VOIMALAITOSTEN SÄILÖNTÄ	28
5.1 Huomioita ennen säilöntää	28
5.2 Kattilalaitoksen korroosiosuojaus	28
5.3 Korroosio kattilalaitoksilla	30
5.4 Vesi- ja höyrypiirin märkäsäilöntä	31
5.4.1 Tavanomainen hapeton märkäsäilöntä	32

5.4.2 Fysikaalinen hapeton märkäsäilöntä kaasutyynytekniikalla	35
5.4.3 Märkäsäilöntä korroosioinhibiittien avulla	36
5.4.4 Säilöntäluoksen kierrätys ja lämmitys	36
5.5 Vesi- ja höyrypiirin kuivasäilöntä	37
5.5.1 Säilöntä kuivalla ilmalla	37
5.5.2 Säilöntä kuumalla ilmalla	39
5.5.3 Kuivasäilöntä muilla kaasuilla	40
5.5.4 Säilöntä kuivausaineilla	41
5.6 Tulipintojen säilöntä	41
5.6.1 Kuumasäilöntä	42
5.6.2 Kylmäsäilöntä	42
5.7 Pumppujen säilöntä	42
5.8 Polttoainelinjojen säilöntä	43
5.9 Säilöntäkemikaalit	44
5.9.1 Yleistä	44
5.9.2 Hapenpoistokemikaali	45
5.9.3 pH:n säätökemikaali	45
5.9.4 Korroosionestokemikaalit	46
5.9.5 Korroosioinhibiitit	46
6 KATTILA 3:N SÄILÖNTÄ	48
6.1 Kattila 3:n tiedot	48
6.2 Kattilan säilöntäpiiriin kuuluvat komponentit	48
6.3 Säilöntämenetelmien vertailu	49
6.4 Tarjousten huomioita	49
6.5 Säilöntätoimenpiteet kattilalaitoksen komponenteille	51
6.5.1 Kattilasäilöntään siirtyminen	51
6.5.2 Syöttövesipumppu	52
6.5.3 Tulistimien ruiskuvesilinjat	52
6.5.4 Ekonomiser	53
6.5.5 Masuunikaasupatteri	53
6.5.6 Lieriö	53
6.5.7 Jatkuva ulospuhallussäiliö	53
6.5.8 Laskuputket	54

6.5.9 Nousu- ja höyrystinputket	54
6.5.10 Tulistimet	55
6.5.11 Vesi- ja höyrylinjojen tilavuus	56
6.5.12 Höyrystimen savu- ja tulipinnat	57
6.5.13 Savukaasu-, ilmakeinavat ja ilmanesilämmitin	59
6.5.14 Mittausyhteet	60
6.5.15 Polttoainekaasuputkien inertoiminen	60
6.5.16 Polttoöljylinjojen erotus	61
6.6 Toimenpiteet ennen säilöntää	61
6.7 Toimenpiteet säilönnän aikana	64
6.8 Toimenpiteet säilönnän purussa	66
6.9 Säilönnän kustannukset	68
7 LOPPUSANAT	72
LÄHTEET	73
LIITTEET	
Liite 1. Lähtötietomuistio	
Liite 2. Voimalaitoksilla yleisesti käytettyjä teräsmateriaaleja	
Liite 3. Kuiva ja märkäsäilönnän liitännät	
Liite 4. Visuaalinen taulukko säilöntöjen vertailuun	

1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä käsitellään pitkäaikaista voimalaitoskattilan säilöntää ja erityisesti märkä- ja kuivailmasäilöntää. Työssä annetaan lisäinformaatioita tilaajalle märkä- ja kuivailmasäilönnästä. Tilaajan kattilalaitos tullaan säilömään uuden tehokkaamman ja hyötysuhteeltaan paremman voimalaitoksen käynnistyksen jälkeen. Tilaajana toimii Raahen Voima. (liite 1.)

Raahen Voiman voimalaitos toimii terästehdasalueella, ja sen käynti on ympäri vuotista. Laitteiden sammuttamisessa metallipinnat altistuvat korroosiolle, ja sen estäminen on avainasemassa säilönnässä. Laitteiden säilönnästä ei Raahen Voimalla ole kokemusta. Säilöntä on tehtävä alusta alkaen huolella, sillä sen onnistuminen voidaan todeta vasta kattilan uudelleenkäynnistyksen yhteydessä. Säilönnän toimivuus, onnistuminen ja riskitekijät on siis tarkasteltava ennen toimenpiteitä.

Vanhalle kattila 3:lle tilaaja on saanut kaksi säilöntätarjousta, joita työssä vertailaan. Tilaaja saa näin lisäinformaatioita siitä, mitä märkä- ja kuivasäilöntämenetelmät vaativat ja millä tavalla ne soveltuvat säilöttävälle kattilalle. Kattila säilötään uuden voimalaitoksen varalaitokseksi viiden vuoden ajaksi. Kattilan suunniteltu vuosittainen käyttö on kahdesta kolmeen viikkoa aina käytössä olevien voimalaitosten vuosihuoltojen yhteydessä.

2 RAAHEN VOIMAN VOIMALAITOS

Raahen Voima on perustettu 2014, ja se on SSAB:n Raahen terästehdasalueella toimiva teollisuuden voimalaitos. Raahen Voima on entisen Ruukki oy:n voimalaitos. Terästehtaan toiminta on keskeiseltä osalta voimalaitoksen toiminnan varassa, sillä voimalaitos toimii energian jakajana tehdasalueella. (1.)

Voimalaitoksen tärkein tehtävä on palamisilman toimitus masuuneille. Masuunien toiminta vaikuttaa myös voimalaitoksen toimintaan, sillä höyryntuotannossa pääpolttoaineena toimii masuunikaasu. Tärkeimmät voimalaitoksen toiminnot ovat palamisilman tuotannon lisäksi masuuni- ja koksikaasun toimitus ja poltto, kattilaveden, jäähdytysveden, höyryn, paineilman, prosessivesien, talousvesien ja sähkön jakelu sekä kaukolämmön tuotanto, valvonta ja jakelu. (1.)

Voimalaitoksen pääkoneet ovat tällä hetkellä kattilat K3 ja K4 , turbogeneraattorit TG01 ja TG02, turbopuhallin ja moottoripuhaltimet MP01 ja MP02. Kattilat K3 ja K4 ovat yksilieriöisiä luonnonkiertokattiloita, joiden höyryn arvot ovat 82 bar ja 525 °C. Turbiinit ovat yksipesäisiä väliottoturbiineja, joiden sähkötehot ovat 21 ja 65 MW ja moottoripuhallinten tehot ovat 6,7 ja 12 MW. (1.)

Rakenteilla oleva uusi voimalaitosyksikkö valmistunee vuonna 2016, jolloin kattila K3 ja turbogeneraattori TG02 jäävät säilöntään. Laitteita tullaan käyttämään suunnitellusti K4:n ja uuden voimalaitoksen vuosihuoltojen yhteydessä. Suunnitellut käytöt ovat kahdesta kolmeen viikkoa kerran vuodessa viiden vuoden ajan. (2.)

3 ENERGIANTUOTANTO

3.1 Energia Suomessa

Voimalaitosten toiminta perustuu polttoaineen kemiallisen energian muuntamiseen loppukäyttäjälle soveltumaan muotoon. Käytännössä tämä tarkoittaa energian muuttamista lämmöksi, sähköksi ja työksi. Verrattuna useisiin muihin maihin energiantuotanto on Suomelle elinehto niin sosiaalisesti kuin teollisestikin. (3, s. 58.)

Suomi on pohjoinen valtio, joka vaatii lämpöä ja sähköä ollakseen teollisesti toimiva yhteiskunta. Puu- ja selluteollisuus ovat Suomessa läheisessä roolissa suurten metsien ansiosta ja metalliteollisuus vaatii mineraalien jalostukseen paljon energiaa. Pitkien välimatkojen johdosta energiaa tarvitaan myös liikenteessä runsaasti. Korkean elintason vuoksi myös tuotteisiin ja palveluihin on sitoutunut paljon energiaa. (3, s. 58.)

Suomi käyttää siis asukasta kohden moniin muihin maihin verrattuna paljon energiaa ja kansantalous on vahvasti energiasidonnainen. Sijaintiin, teollisuuden perusrakenteisiin ja välimatkoihin on mahdotonta, vaikeaa ja hidasta vaikuttaa, ja siksi on tärkeää keskittyä tehokkaaseen energiantuotantoon, raaka-aineiden käyttöön ja kulutustottumusten parantamiseen. (3, s. 58.)

3.2 Kattilatyypit

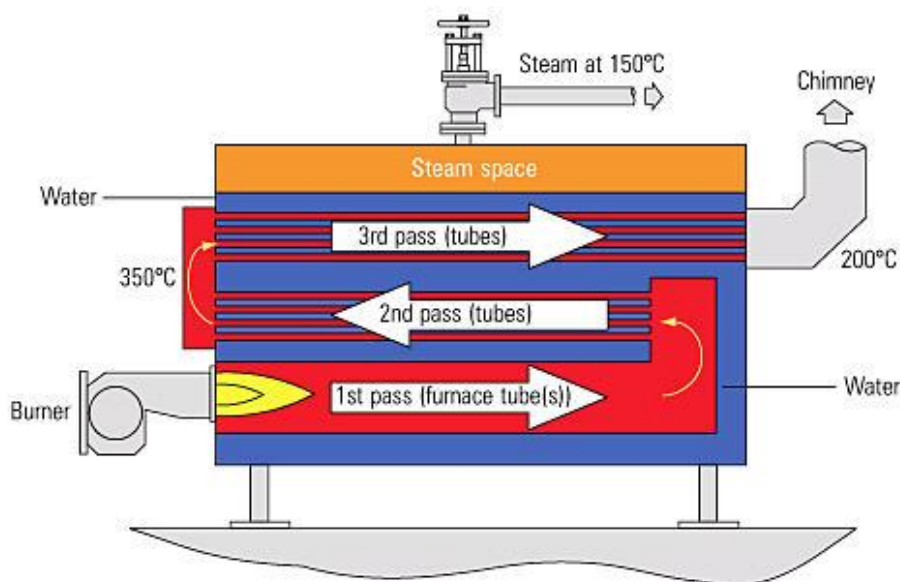
Voimalaitoskattila tuottaa vedestä höyryä, jolla tuotetaan joko lämpöä tai turbiinigeneraattorin avulla sähköä. Voimalaitoskattiloiden toimintaa voi ajatella hyvin yksinkertaistettusti sillä, että kattila on yksi pitkä putki, jonka toisesta päästä syötetään nestemäistä vettä ja toisesta päästä ulos tulee höyryä. Höyrykattilaoissa tyypillisesti käytetyt höyrynpaineet ovat 150–220 bar ja lämpötilat 450–550 °C. (4, s. 7.)

3.2.1 Suurvesikattila

Suurvesikattilat, toiselta nimeltään tulitorvikattilat, ovat pienempitehoisia kattiloita kuin seuraavassa kappaleessa esitellyt kattilaratkaisut. Paineet eivät useinkaan

ole yli 20 bar:a. Suurvesikattiloita käytetään teollisuudessa usein matalapaine-höyryn tuottamiseen, kun höyryä tarvitaan vain vähän. Kattiloiden polttoaineena käytetään yleensä kaasuja tai öljyjä. (4, s. 104.)

Nimensä mukaisesti kattiloiden tilavuudesta suuri osa on vesi- ja höyrytätteisiä (kuva 1). Polttoaine palaa tulitorvissa, minkä jälkeen kääntökammioista savukaasut jatkavat matkaa tuliputkiin. Kattilassa voi olla myös toinen kääntökammio, josta savukaasut virtaavat vielä kerran tuliputkia pitkin ennen kuin päätyvät piippuun. Kattilan putkistot ovat veden ympäröimät ja savukaasut lämmittävät ja höyrystävät vettä. (4, s. 104.)



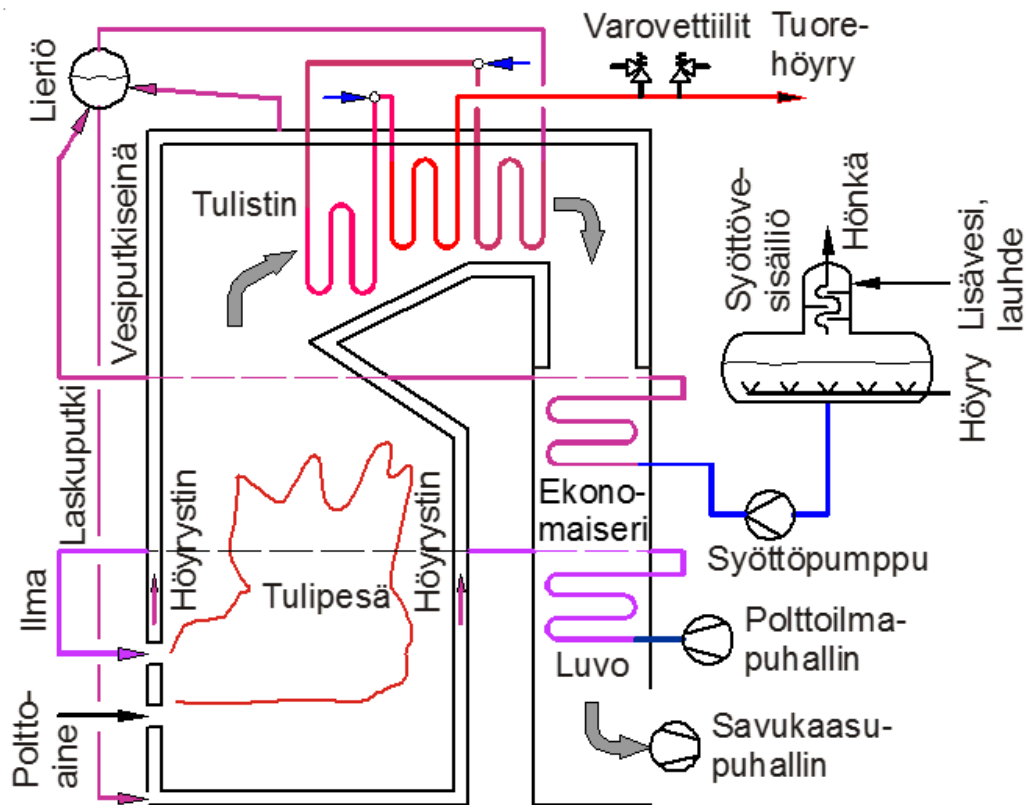
KUVA 1. Kolmivetoisen suurvesikattilan periaatekuva (5)

3.2.2 Luonnonkiertokattila

Luonnonkiertokattiloiden paineet eivät saa ylittää 170 bar:a. Yli 170 bar:n noustessa kattilan luonnonkiertotoiminta vaikeutuu veden ja höyryn tiheyserojen lähestyessä toisiaan. Vaikka veden ja höyryn tiheydet ovat samat vasta 221 bar:ssa, pidetään 170 bar:n painetta turvallisena rajana kattilan toiminnan kannalta. (4, s. 105–108.)

Luonnonkiertokattilan toiminta perustuu nestemäisen veden ja kaasumaisen höyryn tiheyseroihin. Kattilan päällä on lieriö, johon syöttövesipumpulla syötetään

syöttövettä (kuva 2). Lieriöön syötetty vesi laskee painovoiman avulla laskuputkia pitkin höyrystinosan pohjalle, jossa sitä lämmitetään höyrystymiseen asti. Höyry nousee kevyempänä nousuputkia pitkin takaisin lieriöön. Lieriöstä höyry ohjataan prosessiin. Höyrystymättömät veden epäpuhtaudet konsentroituvat lieriöön, ja lieriöstä puhalletaan jatkuvasti hieman vettä pois. (4, s. 105–108.)

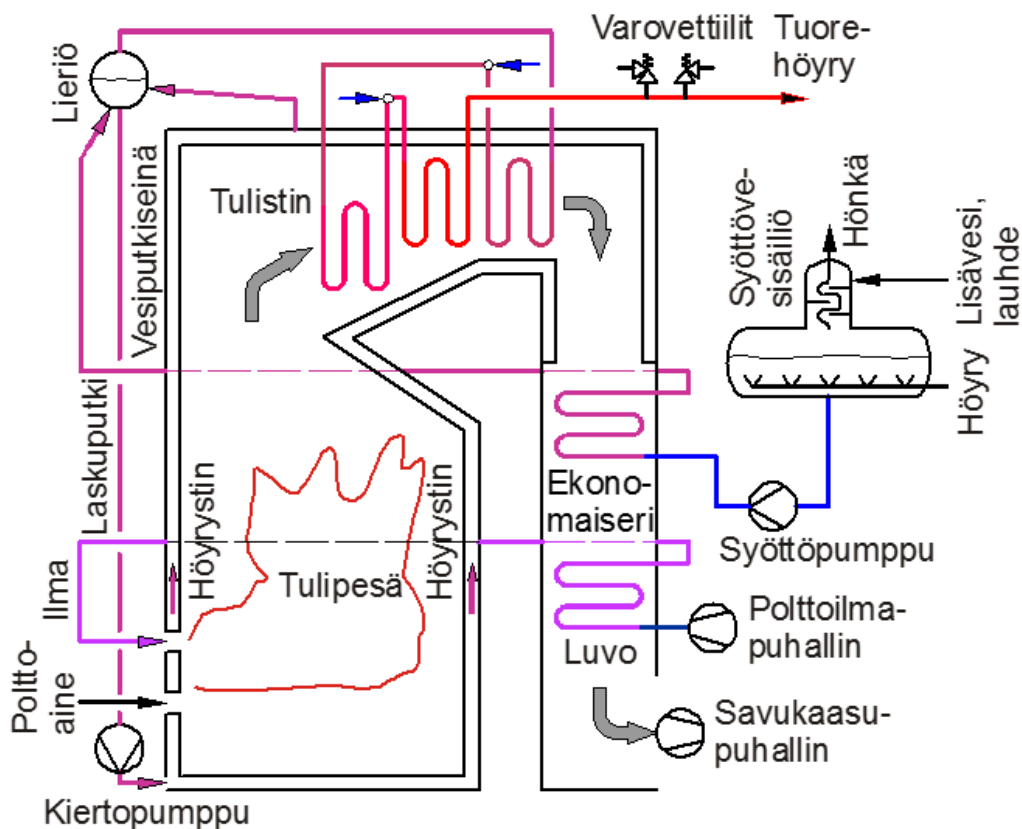


KUVA 2. Luonnonkiertoisen höyrykattilan periaatekuva (6)

Laskuputkessa olevan veden ja höyrystinputkissa olevan veden ja höyryn seoksen tiheyseron aikaan saavalla paneerolla on voitettava höyrystimen painehäviöt. Tämän vuoksi höyrystin pyritään rakentamaan hyvin yksinkertaiseksi. Lasku- ja nousuputket ovat mahdollisimman suoria ja halkaisijaltaan suuria. Paine-ero veden ja höyryn välillä nostetaan rakentamalla kattila kapeaksi ja korkeaksi ja asentamalla polttimet mahdollisimman alas, jotta vesi höyrystyy mahdollisimman alhaalla kattilassa. (4, s. 105–108.)

3.2.3 Pakkokiertokattila

Pakkokierokattila toimii lähes samalla periaatteella kuin luonnonkiertokattila. Kattilan höyrystimessä kiertävä vesi syötetään sinne pumpun avulla, josta tulee nimi pakkokierto (kuva 3). Kattila voi toimia hieman korkeammassa paineessa kuin luonnonkiertokattila. Turvallisena käyttöpaineenä pidetään alle 190 bar:a. Vesi ja höyry erottuvat kattilan lieriössä, minkä vuoksi kattila ei sovellu ylikritisille paineille, jossa veden ja höyryn tiheydet ovat samat. (4, s. 110–111.)

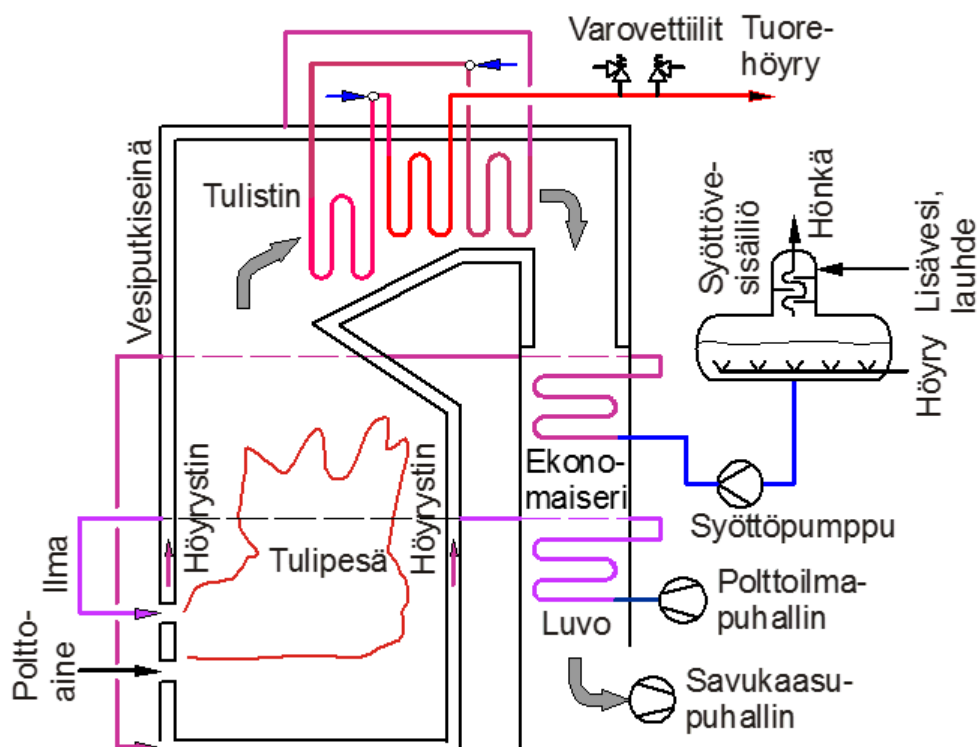


KUVA 3. Pakkokiertokattilan periaatekuva (6)

Höyrystinosa voidaan rakentaa pakkokierron ansiosta lähes mihin asentoon tahansa, ja painehäviöt voivat olla suurempia kuin luonnonkiertoisella kattilalla. Höyrystinputkiksi voidaan valita halkaisijaltaan pienempiä putkia ja saada näin enemmän höyrystyspinta-alaa pienemmälle tilavuudelle. Pienempien putkihalkaisijoiden vuoksi kattilan materiaalikustannukset ovat jonkin verran pienemmät. (4, s. 110–111.)

3.2.4 Läpivirtauskattila

Läpivirtauskattiloissa ei ole lieriötä, jossa vesi ja höyry erottuvat toisistaan (kuva 4). Kattila voi toimia jopa yli kriittisellä painella. Läpivirtauskattila vaatii puhtaampaa syöttövettä kuin lieriökattilat, sillä kaikki syötetystä vedestä höyrystyvät ja liittyvät höyryverkkoon. Lieriökattilan tapaista epäpuhtauksien ulospuhallusta ei ole. Läpivirtauskattiloiden vesitilavuus on pieni, ja niissä käytetyt ohuet putket tarjoavat suuren lämpöpinta-alan. Ohuiden putkien seurauksena kattilassa on vähän lämpöä varaavia massoja ja sen ylös ajaminen on nopeaa. (4, s. 111–118.)



KUVA 4. Läpivirtauskattilan periaatekuva (6)

Läpivirtauskattila voidaan varustaa vedenerotuspullolla, syklonilla, joka asennetaan höyrystinosan jälkeen. Höyrystimessä vettä ei höyrystetä täysin kylläiseen tilaan, vaan höyrypitoisuus on noin 95 %. Vedenerotuspullolla pyrittiin ennen saamaan epäpuhtauksien siirtyminen höyryverkkoon vähemmälle. Vedenerotuspulloa käytetään nykyään lähinnä käynnistysten yhteydessä, sillä vedenpuhdistustekniikka on kehittynyt niin, ettei vedenerotuspulloa tarvita käytön aikana. Läpivirtauskattila voidaan varustaa myös pakkokierto pumpulla. Pumpun tavoitteena on ollut pienentää kattilan suurta painehäviöitä maksimitehoilla. (4, s. 111–118.)

4 KATTILALAITOKSEN KOMPONENTIT

Kattilalaitoksen toiminnasta voidaan erottaa komponentteja omiksi kokonaisuuksiksi. Suuri osa kattilalaitoksen laitteista ja komponenteista ovat lämmönsiirtopintoja, joiden on kestävä suuria paineita ja lämpötiloja. Seuraavassa tarkastellaan kattiloiden komponentteja, jotka vaativat tarkempaa tuntemusta säilöntää ajatellessa.

4.1 Materiaalit

Kattilan materiaalien on kestävä suuria lämpötiloja ja paineita. Yleisesti käytetyt kattilamateriaalit höyrystimessä ovat ferriittiset hiiliteräkset ja tulistimissa niukkaseoksiset ferriittiset, runsasseoksiset martensiittiset tai runsasseoksiset austeniittiset teräkset. Tarkempi taulukko kattilalaitoksella käytetyistä teräsmateriaaleista on liitteessä 2. (7.)

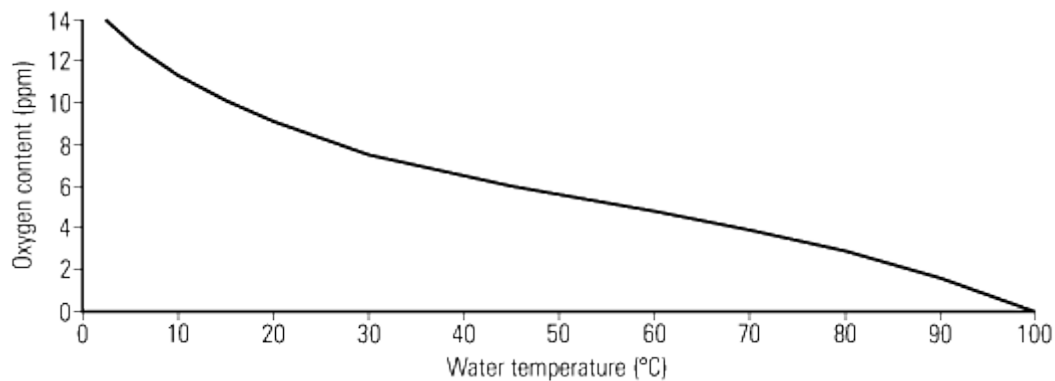
Kattilan vesipuolella käytetään ferriittisiä teräksiä ja höyrypuolella, jossa lämpötilat ovat korkeampia, käytetään seosmateriaaleja. Kuumalujuutta parannetaan usein molybdeenillä, jonka on todettu olevan tehokas lisäaine sen vähäisen seostarpeen vuoksi. Molybdeeni vaikuttaa teräksen lujuuteen jo 0,5–1,0 %:n pitoisuuksilla. Yleisesti ottaen hiiliteräksillä ja niukkaseoksilla teräksillä on vielä hyvä lämmönjohtokyky. (7.)

4.2 Syöttövesisäiliö

Syöttövesisäiliö on säiliö, josta syöttövesipumppu imee kattilaan pumpattavan veden. Säiliö voidaan valmistaa valuraudasta, hiiliteräksestä, muovista tai ruostumattomasta teräksestä. Voimalaitoksissa käytetään materiaaleina hiiliterästä. Suurin osa säiliön vedestä saadaan turbiinin lauhduttimesta kondensoituvasta höyrystä. Lisävetä tarvitaan usein käynnistystilanteissa, joissa kattilaa lämmitetään. Höyryä puhalletaan ulos, sillä sitä ei saada tarpeeksi tulistuneeksi. (8.)

Veden on oltava happivapaata ja puhdasta. Happi poistetaan syöttövedestä kemikaalein tai termisesti. Kuvassa 5 nähdään, kuinka veden happipitoisuus laskee lämpötilan noustessa. Veden lämmityksellä säästää kemikaalikustannuksissa,

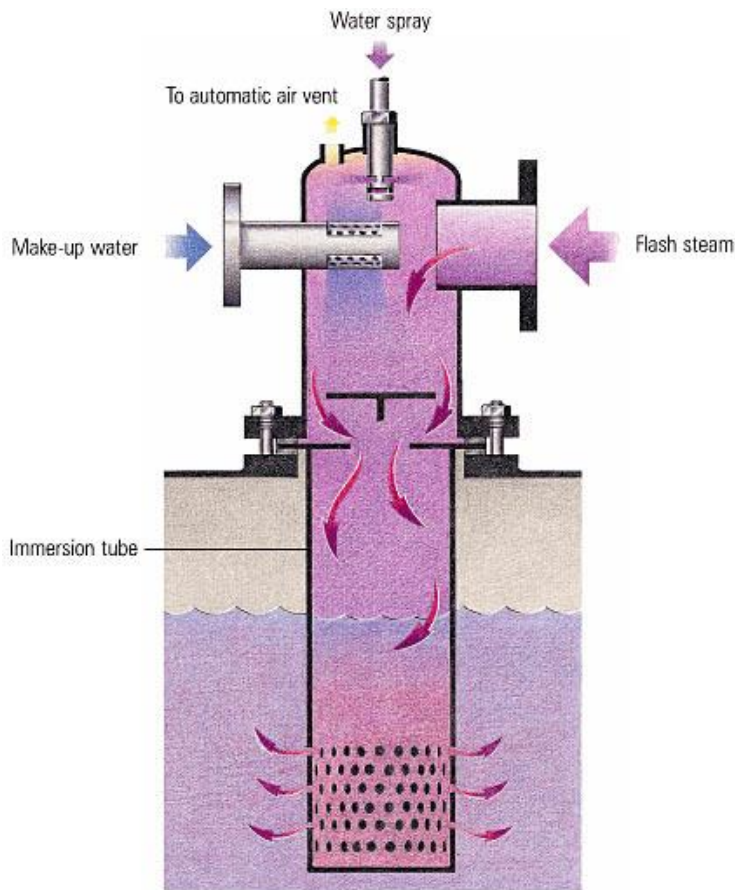
eikä lämmityksessä tapahdu ylimääräistä energiankäyttöä, sillä laitoksen kaikki lämpö on lähtöisin polttoaineesta. Vesi lämmitetään nyt vain ennen kattilaa. (8.)



KUVA 5. Syöttöveden happipitoisuus lämmön funktiona (8)

Syöttövettä lämmitetään säiliöön puhallettavalla höyryllä. Höyryn suuttimet ovat usein veden pinnan alla, jolloin höyry lämmittää vettä tasaisesti ja samalla lauh-tuen takaisin vedeksi. Säiliöissä voi olla myös pintalämmitysmahdollisuus. (8.)

Lisävedessä on lauhdevettä enemmän sitoutuneena happea ja sen poistaminen tapahtuu säiliön päällä olevalla kaasunpoistimella. Kuvassa 6 on periaatekuva syöttövesisäiliön kaasunpoistimesta. Lisävettä (make-up water) ruiskutetaan poistimen yläpäähän ja samalle tasolle puhalletaan lämmityshöyryä (flash steam). Vesi lämpenee ja samalla sitoutunut happi ja muut kaasut poistuvat kaa-suuntuneina ulospuhallusventtiilin kautta. (8.)



KUVA 6. Lisäveden lämmitys syöttövesisäiliön kaasunpoistimessa (8)

4.3 Syöttövesipumppu

Syöttövesipumpulla tuotetaan kattilaveden virtaus ja paine. Pumpulta vaaditaan rakenteellisesti enemmän kuin muilta voimalaitoksen pumpuilta, sillä sen on kestävä suuria paineita ja lämpötiloja. Pumpun voimanlähteenä toimii usein sähkömoottori, mutta myös turbiini voi olla käytävä kone. (4, s. 207–211.)

Korkean painetuotannon vuoksi pumput valmistetaan monipesäisiksi. Monipesäisyys tarkoittaa, että pumpussa on useita juoksupyöriä sarjassa samassa pesässä. Korkea paine johtaa myös siihen, että pumpun välyksien on oltava pieniä. Pumpun imuyhteeseen asennetaan imusuodatin, jolla estetään putkistosta ja syöttövesisäiliöstä tulevien epäpuhtauksien pääsy pumppuun. (4, s. 207–211.)

Pakkokierokattiloissa kiertopumpulla kierrätetään kattilavettä kattilassa. Koska pakkokierto-kattiloiden paineet ja lämpötilat ovat luonnonkiertokattiloita korkeam-

mat, pumpuilta vaaditaan erityistä paineen, lämmön ja tiiveyden sietokykyä. Veden lämpötila voi nousta jopa 300 °C:seen, joka vaatii pumppuyksikölle jäähdytyksen tiivistepesään, tiivistepesän laippaholkille, laakereille ja pumpun kannatusjalustalle. Kiertovesipumppuina käytetään vaakarakenteisia tiivistepesäisiä pumppuja tai pystyrakenteisia märkämoottoripumppuja. (4, s. 207–211.)

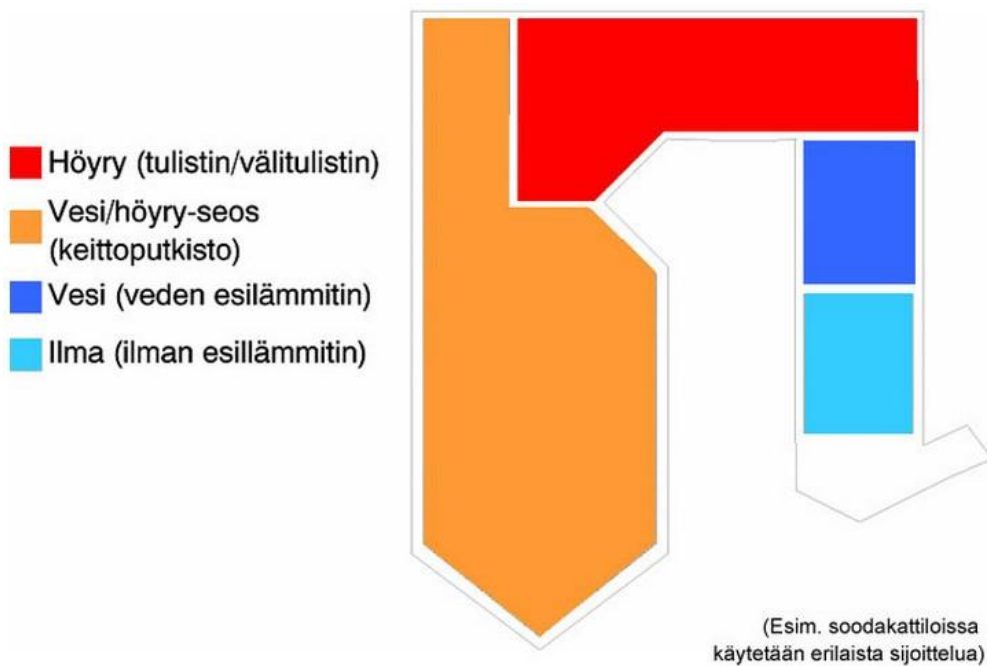
Erityistä huomiota on voimalaitoksilla kiinnitettävä pumppujen kavitaatioon. Kavitaatio on pumppuja vakavasti vaurioittava ilmiö, joka syntyy pumpattavan fluidin paineen laskiessa ja palaututtua takaisin. Tällaisia pistemäisiä paineiskuja tapahtuu tavallisesti nesteillä, mutta myös kaasuilla. Nesteessä paineen aleneminen on niin voimakasta, että vesi höyrystyy. Paineen palautuessa vesi täyttää höyrykuplan ja iskee metalliin suurella voimalla irrottaen siitä materiaalia. Kavitaatio estetään nostamalla pumpun imupainetta. (4, s. 207–211.)

4.4 Syöttöveden esilämmittimet

Syöttöveden esilämmittimiä on voimalaitoksissa kahdenlaisia; savukaasuesilämmitin ja höyryesilämmitin. Esilämmittimet voidaan jakaa vielä höyrystämättömiin ja höyrystäviin esilämmittimiin. Syöttöveden esilämmitintä kutsutaan nimellä ekonomiser tai EKO. (7.)

Höyrystämättömissä esilämmittimissä vesi lämmitetään noin 20 °C kylläisen lämpötilan alapuolelle, ettei kuormitusvaihteluiden aikana kiehumisvaaraa syntyisi. Höyrystävissä esilämmittimissä veden kylläisyysaste voidaan saavuttaa, osa vedestä voi jopa höyrystyä. Ekonomiser ei kuitenkaan saa olla niin tehokas, että savukaasujen lämpötila on vaarassa saavuttaa kastepistettä. (7.)

Ekonomiser sijoittuu yleensä kattilassa tulistinten ja palamisilmanesilämmittimen väliin, kuten kuvasta 7 nähdään. Ekonomiser valmistetaan valuraudasta tai teräsputkista. Valurauta kestää paremmin matalalämpösyöpymistä ja kylmää syöttöettä, mutta sen paineenkesto on vain 60 bar:n tasoa. (7.)



KUVA 7. Kattilan lämmönsiirtopintojen sijoittuminen kattilaan (9)

Teräsputkiesilämmittimet ovat yleisempiä esilämmittimiä. Niitä käytetään, kun savukaasujen syövyttävät ominaisuudet ovat vähäisiä. Normaalit ferriittiset hiiliteräksset St 35.8 ja St 45.8 ovat käytetyimmät esilämmittimien putkimateriaalit. Materiaaleja käytetään, koska niillä on hyvät lämmönjohto-ominaisuudet, helppo muokattavuus, helppo hitsattavuus, edullinen hinta ja pieni lämpölaajenemiskerroin. (7.)

Kaasusta nesteeseen lämmön siirtäminen on heikkoa kaasun lämmönsiirto-ominaisuuksien takia. Tämän vuoksi ekonomiser tehoa nostetaan rivoituksella. Rivoitusten ansiosta ei ekonomiserin koko kasva liian suureksi, mutta sen lämmönsiirtopinta-alaa saadaan nostettua. Rivoitettujen lämmönsiirtoputkien puhdistaminen on kuitenkin vaikeaa ja ne lisäävät hieman savukaasukanavan painehäviötä. (7.)

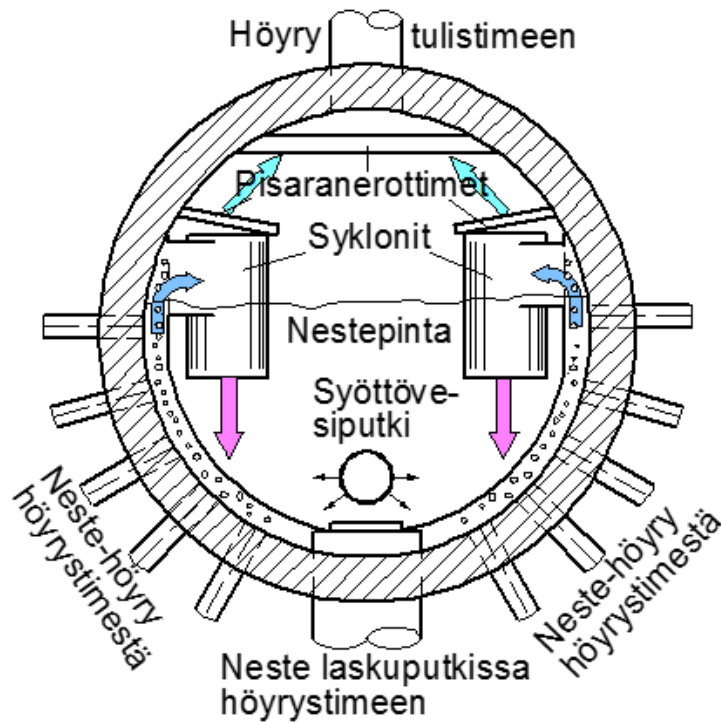
Höyryesilämmittimet voivat olla matalapaine-esilämmittimiä ja korkeapaine-esilämmittimiä. MP-esilämmittimillä lämmitetään matalapaineista vettä, joka on usein turbiinin lauhdevettä. Lämmittävä fluidi on matalapaineista höyryä. Korkeapaine-esilämmittimillä lämmitetään korkeapaineista vettä, joka on syöttövesipum-

pun jälkeisessä linjassa. Lämmittävä fluidi on korkeapaineista höyryä. Esilämmittimien materiaaleiksi soveltuvat normaalit ferriittiset teräkset, koska lämpötila ei nouse liian korkeaksi. (6.)

4.5 Lieriö

Lieriö sijaitsee luonnonkierto- ja pakkokierto-kattiloiden päällä. Lieriö on kattilan mittainen poikittain makaava säiliö, joka on kattilan sisäisen kierron keskus. Lieriössä on runsaasti putkiyhteitä ja aukkoja ja se on vaativa painesäiliö. Materiaali ei ole suuressa lämpörasituksessa. Lieriön seinämäpaksuudet ovat suuria ja ne valmistetaan usein takomalla. Matalapaine-kattiloiden lieriöt voidaan valmistaa levystä taittamalla. (6.)

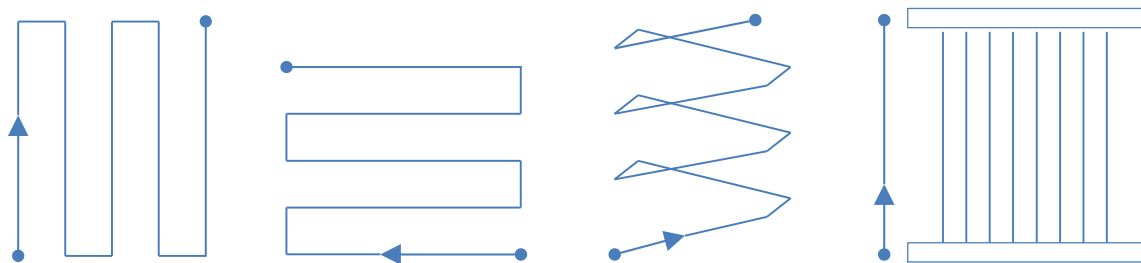
Lieriöön syötetään lähes kylläinen syöttövesi ekonomiserin läpi. Lieriöstä vesi laskee pohjan laskuputkeapitkin höyrystimeen, jossa se muuttaa olomuotoaan höyryksi ja palaa nousuputkia pitkin takaisin lieriöön. Lieriössä höyry ohjataan pisanerottimien kautta kylläisen höyryn linjaan lieriön päälle (kuva 8). Lieriöstä lähtevän höyryn höyrypitoisuus on oltava 100 %, sillä höyryssä olevat vesipisarat aiheuttavat voimakasta eroosiokulumista tulistimissa. Höyrypitoisuuden nosto varmistetaan sykloneilla ja yksi- tai kaksivaiheisilla pisanerottimilla. Lieriössä vedessä olevat epäpuhtaudet eivät jatka höyryn mukana höyryverkkoon ja näin lieriö puhdistaa vettä. Konsentroituvia epäpuhtauksia puhalletaan jatkuvasti ulos lieriöstä. (6.)



KUVA 8. Lieriön poikkileikkaus (6)

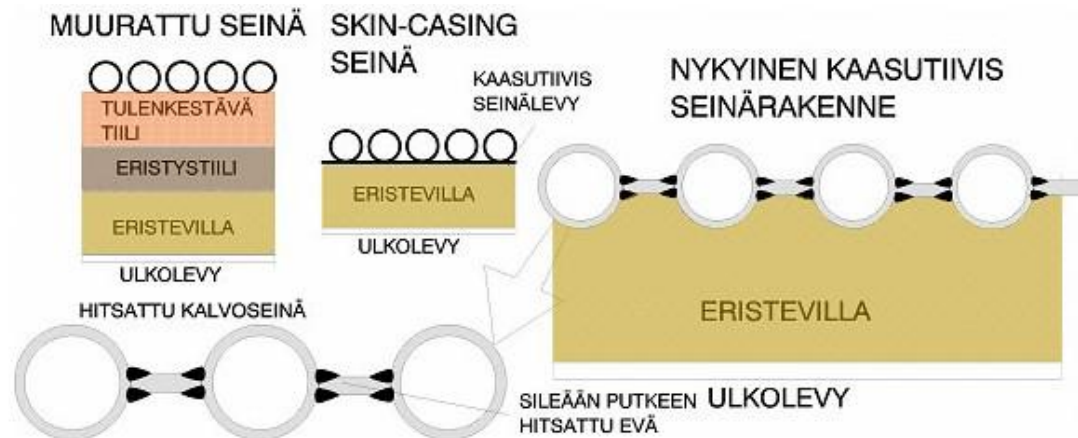
4.6 Höyrystin

Höyrystimeksi kutsutaan kattilan osaa, jossa vesi muuttuu höyryksi. Muodonmuutos vedestä höyryksi vaatii paljon energiaa, siksi höyrystin sijoitetaan kattilan kuumimpaan kohtaan. Höyrystimessä lämpö siirtyy lähes yksinomaan säteilemällä. Höyrystinosan lämpötila voi olla 900–1 300 °C polttotavasta riippuen. Vaikka lämpötilat ovat korkeat, eivät höyrystinputket ylikuumene veden hyvän jäähdytyksen vuoksi. (6.) Höyrystinpatterit rakennetaan pysty-, vaaka-, ruuvi- tai putkipatterimalliseksi kuten kuvassa 9 nähdään (4, s. 114).



KUVA 9. Höyrystinpattereiden konstruktioita (4, s. 114)

Kuvassa 10 nähdään höyrystimen seinärakennetta. Nykyisissä kattiloissa käytetään seinämärakenteena höyrystinputkia, jotka ovat hitsattu lattaraudoilla seinämäiseksi elementiksi. Lämmöneristykseen käytetään vain eristevilla, jota ulkopuolelta suojaa kattilan ulkopelti. (4, s. 172)

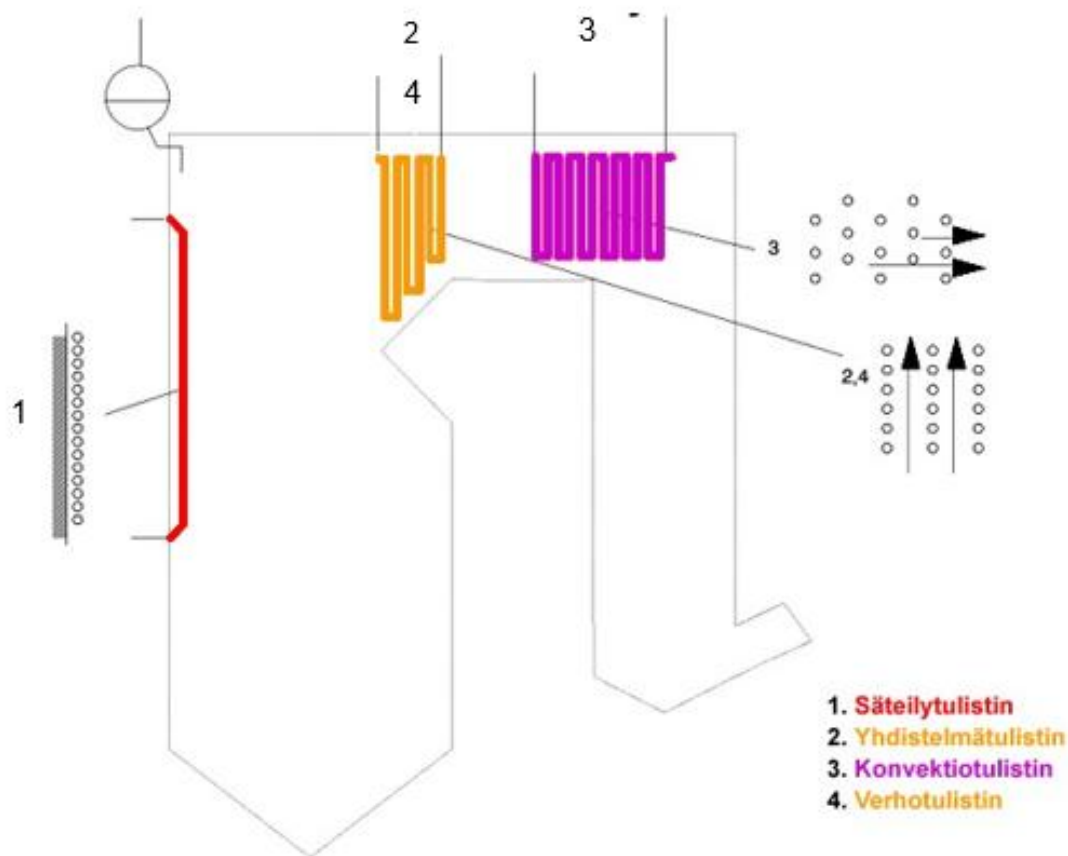


KUVA 10. Erilaisia höyrystimen seinäkonstruktioita (4, s. 172)

4.7 Tulistin

Tulistimet ovat höyrystimen jälkeiset putkistot, joissa höyryn lämpötilaa nostetaan ilman paineen nostoa. Nykyään tulistetun höyryn lämpötila on rajattu materiaali-tekniisten rajoitusten vuoksi 550 °C. Tulistimet rakennetaan vaak- tai pystyasentoon. Käynnistyksen yhteydessä, ennen kuin höyryn arvot ovat normaalilla tasolla, tulistimien ylikuumeneminen estetään puhaltamalla höyryä tulistimien läpi ulos. (7.)

Kuvasta 11 nähdään eri tulistintyyppien sijoittelua kattilassa. Säteilytulistimiin (kuva 11, kohta 1) lämpö siirtyy lähinnä säteilemällä. Tulistin on usein seinätulistin. Säteilyn tuoman suuren lämpövirran seurauksena, höyryn virtausnopeus nostetaan korkeaksi jäähdätyksen parantamiseksi. Tulistinmateriaalin pinnan lämpötila voi olla 60 °C enemmän kuin höyryn lämpötila putken sisällä. (7.)



KUVA 11. Kattilan tulistimien sijoittuminen (4, s. 175)

Verhotulistin (kuva 11, kohta 4) toimii kuten säteilytulistin ja se myös suojaa jäljempänä olevia konvektiotulistimia. Verhotulistin jäähdyttää savukaasuja nopeasti, etteivät sula tuhka ja suolat pääse likaamaan jäljempänä olevia tulistimia. Verhotulistimia käytetään pääsääntöisesti voimakkaasti likaavien polttoaineiden kanssa. (7.)

Konvektiotulistin (kuva 11, kohta 3) on tyypillisin tulistinmalli. Tulistin sijoitetaan kattilaan niin, ettei sille kohdistu säteilylämmönsiirtoa ollenkaan. Lämmönsiirto tapahtuu ainoastaan konvektion avulla. Tulistinmateriaalin lämpötila on 10–40 °C korkeampi kuin höyryn lämpötila. (7.)

Yhtenä tulistintyyppinä pidetään vielä yhdistelmätulistimia (kuva 11, kohta 2). Tulistimet roikkuvat suoraan tulipesän yläpuolella, jolloin putkien alaos altistuu säteilylämmölle ja loppuosa konvektiolle. (7.)

4.8 Tulistimien lämpötilansäätö

Tulistetun höyryn lämpötilaa säädetään materiaalien ja ylikuumenemisen estämiseksi. Lämpötilaa säädetään ruiskuttamalla höyryn sekaan jäähdytysvettä. Veden on oltava puhdasta, jottei höyryverkkoon ajaudu epäpuhtauksia. Toinen vaihtoehto on höyryn ohitussäätö. Tässä menetelmässä osa höyrystä ohjataan tulistinpatteriston ohi, mutta vaarana on ohitetun tulistimen ylikuumeneminen. (7.)

Jäähdytys on laskettava ja automatisoitava tarkoin, jotta tulistetun höyryn loppulämpötila pysyy vakiona. Lämpötilan muuttuessa höyryn energiasisältö muuttuu ja turbiinin käynti on epätasaista. Tavallisesti loppulämpötila saa vaihdella ± 5 °C. (7.)

4.9 Tulipintojen puhdistuslaitteet

Kattilan lämpöpintojen likaisuus heikentää lämmönsiirtoa ja kattilan hyötysuhdetta. Esimerkiksi jos savukaasuista ei saada lämpöä talteen tehokkaasti höyrystimessä, savukaasujen loppulämpötila on tavallista korkeampi. Tulistimien ja esilämmittimien lämmönsiirrinpinnat voivat vastaavasti olla puhtaat, jonka seurauksena materiaalien ylikuumenemista voi tapahtua. (4, s. 198–204.)

Kattilan lämmönsiirtopintoja voidaan puhdistaa puhallusnuohoimilla. Kattilan sisälle puhalletaan nuohoinpillillä höyryä tai ilmaa kovalla paineella. Höyry on käytännössä järkevä vaihtoehto, sillä sitä saadaan kattilasta suoraan. Höyryn tulee olla tulistunutta, jotteivat siinä olevat vesipisarot vahingoita lämpöpintoja. Puhallusnuohoimilla puhdistetaan usein konvektiopintoja. (4, s. 199–201.)

Vesipesulaitteita käytetään lähinnä pakottavissa tilanteissa kattilan alasajon jälkeen. Kattila on kuivattava pesun jälkeen tarkasti veden syövyttävän vaikutuksen johdosta. Käytön aikaista vesipesua tulee välttää sen aiheuttamien lämpöjännitysten ja korroosiovaaran johdosta. (4, s. 202.)

Kuulanuohouksessa kattilan sisälle pudotetaan noin 3–9 mm halkaisijaltaan olevia teräs-, valurauta- tai alumiinikuulia. Kuulien pudotessa kattilan läpi ne puhdis-

tavat lämpöpintoja mekaanisesti. Kattilan pohjalta kuulat siirretään takaisin kattilan päälle uutta nuohousta odottamaan. Kuljetukseen voidaan käyttää pneumaattikkaa, kola- tai magneettikuljetinta. (4, s. 202–203.)

Ravistusnuohoimilla pyritään saamaan aikaan puhdistettavalle pinnalle mahdollisimman suuri kiihtyvyys, mutta pieni amplitudi. Näin mekaaniset räsäykset jäävät pieniksi. Ravistus voidaan tuottaa iskuvasaralla. Ääninuohoimilla saadaan aikaan materiaalien värähtelyä. Massanhitauden johdosta lämpöpinnoille kiinnittyneet hiukkaset värähtelevät metallin kanssa eri tahtiin ja lika irtoaa. (4, s. 203–204.)

4.10 Puhaltimet

Kattilalaitoksilla käytetyillä ilma- ja savukaasupuhaltimilla tuotetaan kattilaan palamiselle suotuisat olosuhteet. Puhaltimien säädöillä luodaan kattilaan pieni alipaine. Alipaineella estetään myrkyllisten savukaasujen ajautuminen kattilahuoneeseen mahdollisten vuotojen johdosta. Kanaviston ja kattilan on kestävä alipainetta 5 kPa:n verran, mutta myös saman verran ylipainetta. (4, s. 224.)

Puhaltimien kanavisto mitoitetaan siten, ettei kaasujen virtausnopeus laske alle 8 m/s. Pienemmillä virtausnopeuksilla savukaasuissa olevat partikkelit voivat sedimentoitua kanavistoon. Virtausnopeudet eivät myöskään saa nousta liian suuriksi lämmönsiirron kustannuksella. Lämpöeristys on vietävä kanavistossa loppuun asti, jottei kastepistettä saavutettaisi missään vaiheessa. (4, s. 224.)

Puhaltimina voidaan käyttää keskipako- tai aksiaalipuhallinta. Keskipakopuhallinta käytetään, kun tarvitaan suuria puhalluspaineita, jopa 50kPa. Savukaasupuhaltimet valmistetaan korrodoiviin olosuhteisiin sopivista materiaaleista. Puhaltimien juoksupyöriä on erilaisia ja ne soveltuvat eri olosuhteisiin eri tavalla. Toiset soveltuvat pölymäisen kaasun puhallukseen ja toiset puhtaan kaasun. Rakenteellisesti pyritään saamaan puhaltimesta aerodynaaminen ja itsepuhdistuva. (4, s. 227–229.)

Aksiaalipuhaltimissa kaasu virtaa akselin suuntaisesti ja puhaltimilla tuotetaan suhteellisen pieniä paineita. Puhaltimen siipikulmia voidaan säädellä käytön aikana. Aksiaalipuhaltimet ovat jossain määrin syrjäyttäneet keskipakopuhaltimia voimalaitoksen savu- ja ilmapuhaltimina. (4, s. 229.)

4.11 Ilmanesilämmitin

Palamisilman esilämmitintä nimitetään usein luvoksi, joka tulee saksankielisestä sanasta Luftvorwärmer. Palamisilman esilämmitys parantaa palamishyötysuhdetta ja kuivaa esimerkiksi hiiltä hiilipölypoltossa, jossa hiili puhalletaan ilmalla polttimiin. Esilämmitys siis tehostaa polttoaineen syttymistä ja nopeuttaa palamista, mutta toisaalta voi nostaa savukaasujen typpioksideja. (6.)

Ilmanesilämmitin voi olla savukaasuesilämmitin, joka sijaitsee kattilassa viimeisenä lämmönsiirtopintana, kuten kuvassa 7 nähdään. Viimeinen lämmönsiirtopinta määrää savukaasujen loppulämpötilan sen kastepisteen mukaan. Savukaasujen kastepiste on polttoaineesta riippuvainen, esimerkiksi öljyn tyypillinen loppulämpötila on 100 °C ja maakaasun 140 °C. (7.)

Ilmanesilämmittimet jaetaan rekuperatiivisiin-, regeneratiivisiin- ja höyryesilämmittimiin. Rekuperatiiviset esilämmittimet toimivat samalla periaattella kuin syötöveden esilämmittimet. Savukaasu virtaa lämmönsiirtopinnan toisella puolella ja ilma virtaa pinnan toisella puolella. Lämmönsiirtimen paineet ja lämpötilat ovat alhaiset, joten materiaaleina voidaan käyttää hiiliterästä, valurautaa ja lasia. Hiiliteräs kestää kastepisteteen aiheuttamaa korroosiota huomattavasti paremmin kuin valurauta ja lasi kestävät näitäkin paremmin. (7.)

Regeneratiiviset esilämmittimet toimivat lämpöä varaavien massojen avulla. Kuumat savukaasut ja kylmä palamisilma koskettavat samaa lämpöä siirtävää materiaalia vuoron perään. Regeneratiiviset esilämmittimet eivät vaadi niin suurta tilantarvetta suurissa teholuokissa kuin rekuperatiiviset esilämmittimet. Materiaaleina käytetään teräksiä, keraameja ja harkkoja. (7.)

Höyryluvo toimii ilmanesilämmittimenä kattilan ulkopuolella. Höyryluvon höyrynä käytetään usein turbiinin välitosta saatavaa matalapainehöyryä, mutta erikois-

tapauksissa myös kuumaa vettä. Höyrylämmittintä voidaan käyttää ennen savukaasuluvoa, mikäli vaarana on savukaasujen loppulämpötilan laskeminen alle kastepisteen. Höyryluvoa käytetään usein kattilan pienillä kuormilla. (6.)

4.12 Polttoaineen esilämmitin

Polttoaineen esilämmittimet toimivat samalla periaatteella kuin mitkä tahansa lämmönsiirtolaitteet. Kyseessä on kaasu/kaasu-, kaasu/neste-, kaasu/kiintoaine-esilämmitin. Esilämmityksellä saadaan aikaan parempi polttoaineen palaminen ja vahingollisia savukaasupäästöjä vähemmälle. (10.)

5 VOIMALAITOSTEN SÄILÖNTÄ

Uusien ja tehokkaampien voimalaitosten valmistuessa on vanhempia laitoksia sammutettava reserviin. Vanhoja laitoksia ei sovi jättää korroosiolle alttiiksi. Uudessa laitoksessa voi esiintyä niin kutsuttuja lastentauteja, jotka saattavat johtaa laitoksen sammumiseen ja käyttökelvottomuuteen. Reservissä olevaa kalustoa on saatava käyttöön nopeasti ja tehokkaasti. (11, s. 1.)

5.1 Huomioita ennen säilöntää

Voimalaitoksen säilöntään vaikuttavia tekijöitä tulee vertailla useista näkökulmista. Suurimmat vaikuttavat tekijät ovat laitoksen tekninen toteutus, säilönnän kesto ja toistuvuus. Teknisessä toteutuksessa täytyy tarkastella voimalaitoksen materiaalisia ja fysikaalisia ratkaisuja, kuten säilöntämateriaalien sopivuus ja kattilan rakenne eri säilöntämenetelmille. Lisäksi huomioon otettavia seikkoja ovat laitoksen uudelleen käynnistettävyyss aika, säilönnän ylläpidon ja kunnossapidon taloudellisuus, mahdolliset vaikutukset ihmisiin ja luontoon, säilöntämateriaalien ja -laitteiden hävitys, taloudellinen hyöty ja ympäristövaatimukset. (12, s. 15.)

Voimalaitosprosessi on laaja, ja on huomioitava mitä komponentteja säilönnän piiriin otetaan. Toiset säilöntämenetelmät soveltuvat erinomaisesti lyhytaikaiseen tai yksinkertaisen laitteen säilöntää. Huomiota kannattaa kiinnittää myös siihen, onko säilöntäaine soveltuva säilöttävälle materiaalille, kuinka herkkiä komponentit ovat korroosiolle ja ovatko säilöttävät komponentit erityisen tärkeitä. (11, s. 2.)

Laitoksen omistajan ja käyttäjän on vertailtava eri menetelmiä valintaan päästäkseen, sillä säilönnän onnistuminen voidaan todeta vasta laitoksen uudelleen käynnistämisen yhteydessä. Säilönnän onnistumista seurataan jatkuvalla valvonnalla ja mittaustulosten analysoinnilla. (12, s. 15.)

5.2 Kattilalaitoksen korroosiosuojaus

SFS-EN ISO 8044 -standardi määrittelee korroosion seuraavasti:

”Korroosio on fysikaalis-kemiallinen reaktio metallin ja sen ympäristön kanssa, joka aiheuttaa muutoksia metallin ominaisuuksiin ja joka voi johtaa metallin, sen

ympäristön tai teknisen järjestelmän, johon ne kuuluvat, toiminnan merkittävään heikentymiseen” (13).

Kattilalaitosten ongelma on ollut aina korroosiosuojaus käytön ja seisakkien aikana. Kattila voi olla vuoden yhtäjaksoisessa käytössä, jolloin on oltava varmoja sen toimivuudesta ja materiaalien kestävydestä. Käytön aikainen korroosiosuojaus on lähes kokonaan voitettu mm. vedenkäsittelytekniikan ja paremman kattilarakennustekniikan ansiosta. (14.)

Kattilalaitoksilla käytetty teräs ei sellaisenaan kestä veden ja höyryn syövyttävää vaikutusta, vaan teräksen pinnalle muodostetaan suojaava kalvo. Käytön aikana putkistojen sisäpinnalle muodostettava musta kalvo on nimeltään magnetiittikalvo, jonka kemiallinen koostumus on Fe_3O_4 . Tämä kalvo on paras tunnetuin korroosiosuoja. Kalvon ylläpitäminen ja sen liiallinen kasvaminen ovat vedenkäsittelyyn liittyvien toimenpiteiden päämäärä. (14.)

Alhaisissa lämpötiloissa syntyvä rautaferrohydroksidi on väriltään valkoista ja lämpötilan noustessa yli $60\text{ }^\circ\text{C}$:n alkaa rautahydroksidi hajota magnetiitiksi (taulukko 1). Reaktio kiihtyy lämpötilan noustessa yli $200\text{ }^\circ\text{C}$:n, ja se tapahtuu silmänräpäyksellisesti. Alle $570\text{ }^\circ\text{C}$:n lämpötilassa muodostuva magnetiitti on tavoiteltu ja se on keskeinen raudan reaktio höyrytekniikassa. Yli $570\text{ }^\circ\text{C}$:n lämpötilassa muodostuva rautaoksidi on ei toivottu, sillä sen hilarakenne on magnetiittia heikompi. (14.)

TAULUKKO 1. Magnetitiin muodostuminen eri lämpötiloissa (14)

$< 60\text{ }^\circ\text{C}$	$\text{Fe} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{H}_2$
$> 60\text{ }^\circ\text{C}$	$3\text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{lämpö} \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2$
n. $250\text{--}570\text{ }^\circ\text{C}$	$3\text{Fe} + 4\text{H}_2\text{O} + \text{lämpö} \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 + 4\text{H}_2$
$> 570\text{ }^\circ\text{C}$	$\text{Fe} + \text{H}_2\text{O} + \text{lämpö} \rightarrow \text{FeO} + \text{H}_2$

Magnetiittikalvon kehitystä voidaan seurata mittaamalla vedyn määrää höyryssä. Höyryn vetypitoisuus asettuu $4\text{--}10\text{ }\mu\text{g/kg}$ tasolle, kun tasainen ja suojaava magnetiittikalvo on muodostunut putken pinnalle. Vetypitoisuus tasaantuu noin $2\text{--}3$ päivän kuluttua. (14.)

5.3 Korroosio kattilalaitoksilla

Säilönnässä pyritään aina minimoimaan materiaalien korroosio. Yleisesti hyväksytty korroosion raja on $0,03 \text{ g/m}^2\text{h}$. Materiaalin kuluminen on tällä arvolla hyvin kohtuullinen ja edellyttää 30 vuoden säilöntää, jotta materiaalista olisi syöpynyt 1 mm ainesta. Kattilasäilönnässä on kyse aina happikorroosiosta, jolloin anodilla tapahtuu raudan liukenemista. Säilönnässä on kiinnitettävä huomiota paikalliseen pistekorroosioon ja näin ollen yllä mainittu yleinen korroosioraja on epäkäytännöllinen mitattaessa säilönnän onnistuneisuutta. (11, s. 2.)

Kattilaa suojaava magnetiittikalvon ominaisuudet ovat otolliset vain tasaisissa olosuhteissa. Magnetiitti muodostuu $250\text{--}550 \text{ }^\circ\text{C}$:n lämpötilassa, ja kattilat säilötään normaalisti alle $100 \text{ }^\circ\text{C}$:ssa ja kuivasäilönnässä tätäkin alemmaksi. Hiiliteräksestä valmistettujen putkien ja magnetiitin lämpölaajenemiskertoimet ovat erilaiset. Lämpötilan muuttuessa magnetiittikalvo rikkoutuu eikä suojaa täydellisesti putkien pintaa. Toiseksi, magnetiittikalvon mekaanisten rasitusten kestävyys on huono. Kalvo ei kestä värähtelyjä, suuria virtausnopeuksia eikä pyörteitä. Kolmanneksi, kalvo ei kestä liian suuria tai matalia pH:n arvoja. Kalvon liukoisuus on minimissään 10–11 pH:n alueella. (15, s. 1–2.)

Kattilalaitoksen vesihöyrykierrossa yleisesti esiintyviä korroosimuotoja ovat seuraavat:

1. yleinen syöpyminen, eli metallin pinta syöpyy tasaisella nopeudella koko pinta-alaltaan anodisten ja katodisten alueiden vaihtaessa koko ajan sijaintiaan
2. pistekorroosio, jolloin metalli syöpyy pieneltä alueelta piste- tai kuoppamaisesti; syöpymä etenee harvoin massiivisten rakenteiden läpi ja yleensä pysähtyy saavutettuaan tietyn syvyyden
3. rako- eli piilokorroosio, eli rakenteissa on rakoja tai kerrostumia, joista vesi ei pääse kiertämään samalla tavoin kuin muissa metallipinnan alueilla; rakoihin kertyy happea ja muita epäpuhtauksia, jotka kiihdyttävät korroosiota

4. galvaaninen eli kontaktikorroosio; mikäli jalompi metalli on kosketuksissa epäjalomman metallin kanssa happipitoisessa sähköä johtavassa vesiliuoksessa, epäjalompi metalli syöpyy
5. alkalikorroosio liuottaa kattilaputkia suojaavaa magnetiittikalvoa ja altistaa paljaan metallin korroosiolle
6. vetyhaurastuminen, eli magnetiitin liuotessa muodostuu vetyä, joka tunkeutuu teräskiteiden välisiin huokosiin ja aiheuttaa haurastumista
7. eroosiokorroosio, eli fluidin virtausnopeuden kasvaessa liian suureksi se pystyy irrottamaan metallia suojaavaa oksidikalvoa ja paljastamaan puhtaan metallin korroosiolle
8. kavitaatiokorroosio, eli virtaukseen syntyneet kaasukuplat luhistuvat ja aiheuttavat suuria paineiskuja metallin pintaan
9. hiertymäkorroosio, eli kaksi toisiaan vastaan puristettua pintaa pääsevät värähtelyn johdosta liikkumaan hieman toistensa suhteen
10. raerajakorroosio, eli metallin raerajoille muodostuu korroosiokestävyyttä heikentäviä yhdisteitä
11. jännityskorroosio, eli metallin pinnalle muodostuu säröjä sähkökemiallisen korroosion ja pinnassa vaikuttavan vetojännityksen vaikutuksesta
12. korroosioväsyminen, eli metalli altistuu värähtelyille, vaihtosuuntaisille kuormille tai termisille vaihteluille
13. valikoiva liukeneminen, eli metallin pinnalle muodostuu huokoinen kerros, josta jokin metallin seosaine on liennut pois (15, s. 4–17; 16, s. 100–125).

5.4 Vesi- ja höyrypiirin märkäsäilöntä

Kattilalaitoksen märkäsäilöntä on perinteisin ja usein käytetty säilöntämenetelmä. Tässä säilöntämenetelmässä pidetään happi pois metallipinnoilta. Märkäsäilöntämenetelmä on turvallisin ja helpoin vaihtoehto onnistumisen kannalta, mikäli kattilassa on riipputulistimet, sillä riipputulistinten tyhjennys kaasusäilöntää varten voi olla haastavaa ellei mahdotonta. Ilman erillistä lämmitystä tai jäätyminen estoa ei märkäsäilöntää tule käyttää kohteissa, joissa on jäätymisvaara. (17, s. 20.)

Märkäsäilönnässä kattila täytetään puhtaalla kaasupoistetulla syöttövedellä, johon annostellaan säilöntäkemikaaleja ja pH:n säätökemikaaleja. Näin luodaan kattilaan olosuhteet, joissa korroosio on minimissään. Kattilaan ei kannata aiheuttaa turhia lämpöjännityksiä kuumien pintojen ja kylmän syöttöveden välille. Veden ja metallin lämpötilaero on pidettävä 40–65 °C:n välillä. Veden massa aiheuttaa lisäksi höyryputkille normaalia enemmän kuormaa. (17, s. 20.) Märkäsäilöntää voidaan toteuttaa seuraavilla tavoilla.

5.4.1 Tavanomainen hapeton märkäsäilöntä

Hapetonta märkäsäilöntää käytetään kattiloiden lyhyt- ja pitkäaikaiseen säilöntään. Tässä säilöntämenetelmässä pidetään happi pois metallipinnoilta. Kattila täytetään kokonaan tulistimia myöten kaasupoistetulla hapettomalla syöttövedellä. Syöttövetä käsitellään kemikaalein, jotta saavutetaan taulukon 2 mukaiset säilöntäliuoksen arvot. Taulukossa 2 olevat arvot hapensidontakemikaalin annostusmäärään ovat tapauskohtaisia. Kemikaalin annostus riippuu syöttöveteen liuenneen hapen määrästä. (18.)

TAULUKKO 2. Kattilan säilöntäliuoksen ohjearvoja VGB PowerTech mukaan (18)

Analysoitava suure	Lyhyt säilöntä < 2 vko	Pitkäsäilöntä > 1kk
Veden pH	9,5	10,5
Alkalointikemikaali, mg/l	150	150
Hapensidontakemikaali, mg/l	n. 100	n. 200
Kationivaihdettu johtokyky, mS/m	< 0,5	< 0,5
Fe, mg/l	Hidas tasainen kasvu sallittu	Hidas tasainen kasvu sallittu
Cu, mg/l	< 0,003	< 0,003

Kattilaan liitetään säilöntäpumppu, säilöntäkemikaaliastiat mukanaan annostelupumput ja paisunta-astia. Kattilan painetta lasketaan höyryn ulospuhalluksen kautta, kunnes on saavutettu lähes ilmanpaine. Höyryn lauhtumisessa syntyvää alipainetta tulee välttää. Kattila täytetään hapettomalla kaasupoistetulla syöttövedellä, johon annostellaan säilöntäkemikaaleja. Kattilan täytössä on huomioitava,

että mahdollisia ilmataskuja ei pääse syntymään. Ilmataskujen muodostumista voidaan vähentää täyttämällä kattilaa pohjasta, syöttämällä säilöntävettä useista paikoista jos mahdollista tai antamatta höyryn synnyttää alipainetta. (17, s. 24.)

Paisunta-astia liitetään järjestelmän korkeimpaan kohtaan (17, s. 24). Avoin paisunta-astia varustetaan näkölasilla, huohottimella, täyttöventtiilillä ja väkevällä säilöntäliuoksella. Paineellinen astia varustetaan esipaineen painemittarilla. (11, s. 5; 17, s. 22.) Säilönnän aikana on valvottava, että avoimessa paisunta-astiassa on väkevää säilöntäliuosta tai paineellisen astian esipaine on $> 0,1$ bar (11, s. 5).

Jos laitoksen vesitilavuus on riittävän alhainen, voidaan käyttää myös kattilake-mikaaleja kestävää kalvopaisunta-astiaa. Paisunta-astian mitoitukseen tarvitaan järjestelmän keskilämpötilaa, jonka avulla taulukosta 3 saadaan laskentakerroin. Astian mitoitus tapahtuu kaavalla 1. (19, s. 78.)

$$V = \frac{p_a}{p_a - p_e} \times \frac{a V_0}{100}$$

KAAVA 1

V = kalvopaisunta-astian tilavuus [m^3]

p_a = varoventtiilin avautumispaine [kPa abs]

p_e = paisunta-astian esipaine [kPa abs]

a = veden lämpölaajenemiskerroin $a\%$, kts. taulukosta 3

V_0 = järjestelmän vesitilavuus [m^3] (19, s. 78)

TAULUKKO 3. Veden lämpölaajenemiskerroin α % (19, s. 78)

Järjestelmän keskilämpötila °C	Vesi α %
10	0,04
20	0,18
30	0,44
40	0,79
50	1,21
60	1,71
70	2,28
80	2,96
85	3,21
90	3,59
95	3,94
100	4,35

Pitkässä säilöntä liuosta kierrätetään kattilassa säännöllisin väliajoin, kuten ker-
ran kuukaudessa 10 tuntia ja ensimmäisen kuukauden aikana viikoittain. Lämpö-
tila nostetaan kierrätyksen alkaessa käytössä olevan kemikaalin vaatimalle ta-
solle. Tällä varmistetaan säilöntäliuoksen hyvä sekoittuminen. Kierrätyksen ai-
kana säilöntäliuoksesta otetaan näytteet. (20.)

Hapensidontakemikaalia lisätään, jos konsentraatio laskee enemmän kuin 33 %
alkuperäisestä määrästä. Säilöntäliuoksen pH:n laskiessa 1:llä on alkalointikemi-
kaalia lisättävä. Kemikaalien lisäyksen yhteydessä huomioidaan niiden hyvä se-
koittuminen kaikkialle säilöntäliuokseen. (17, s. 29.)

Kattilan uudelleenkäynnistyksessä huomioitavaa on, että hapensidontakemikaa-
lina usein käytetty hydratsiini hajoaa paineen ja lämpötilan noustessa ammoni-
akiksi. Ammoniakki nostaa veden pH:ta, ja sillä on syövyttävä vaikutus varsinkin
kupariin ja kuparimetalleihin, joita usein löytyy turbiinien lauhduttimista. Säilöntä-
liuos usein poistetaan kattilasta ennen käynnistystä tai höyry puhalletaan katolle.
(11, s. 5.)

5.4.2 Fysikaalinen hapeton märkäsäilöntä kaasutyynytekniikalla

Fysikaalinen hapeton märkäsäilöntä kaasutyynytekniikalla soveltuu lyhytaikaiseen kattilan säilöntään, joka voi vaihdella tunneista jopa viikkoon. Kattilan venttiilit suljetaan ja sen sisälle jätetään normaalitilanteen paine, lämpötila ja kattilavavesikemia. Tällä estetään nopean lämpötilamuutoksen aiheuttamia lämpöjännityksiä ja nopeutetaan kattilan ylösajoa. Lisäksi kattilaa suojaava magnetiittikalvo ei hajoa nopeiden lämpötilamuutosten johdosta. (18.)

Paine ylläpidetään kattilassa sytyttämällä tulia tulipesään tai ulkopuolisella höyrösyötöllä höyrypuolelle. Tulien käyttämisessä huomioidaan savukaasupintojen kastepistekorroosiovaara. Erityisesti rikkiä sisältävien polttoaineiden käytössä on happokastepiste vaara. Jotta happokastepistettä ei syntyisi, savukaasujen lämpötila ei saa laskea alle 120–125 °C. Kastepiste on polttoaineesta riippuvainen. Lämpötilahäviöitä piippuun vähennetään pitämällä savukaasupellit kiinni. (11, s. 8.)

Normaali vesipinta säilytetään pumppaamalla kattilaan vettä syöttövesipumpulla. Vesipintaa lasketaan vesipuolen ulospuhallusta avaamalla. Läpivirtauskattiloissa voidaan vedenerotuspullosta palauttaa vettä syöttövesisäiliöön ja syöttövesipumpulla takaisin kattilaan. Säilönnän aikana valvotaan, että kattilan paine, lämpötila ja vesipinta eivät ylitä hälytysrajoja. Tällä säilönnällä saavutetaan tuntien mittainen säilöntä. (11, s. 8.)

Fysikaalinen hapeton märkäsäilöntä voidaan toteuttaa myös pienemmällä paineella. Säilöntä ei sovellu riipputulistin tyyppisille laitoksille. Kattilan venttiilit suljetaan ja paine lasketaan 1–2 bar:iin. Kattilassa pidetään 1–2 bar:n paine ulkoisella höyrylähteellä. Höyrylähde voidaan korvata typpiyhteellä. Typpi liitetään kattilaan paineen ollessa 2–4 bar. Typpellä ylläpidetään 2–4 bar:n paine kunnes höyryä ei enää lauhdu. Kaasun paine voidaan tämän jälkeen laskea ja ylläpitää 2 mbar:ssa. (12, s. 26.)

Typpikaasutyynyillä saavutetaan jopa viikon kestävän säilönnän. Fysikaalisella hapettomalla märkäsäilönnällä etuna on nopea kattilan uudelleenkäynnistys, sillä kattilassa on käytetty vain puhdasta vettä, höyryä tai inerttiä kaasua. (12, s. 26.)

5.4.3 Märkäsäilöntä korroosioinhibiittien avulla

Säilöntä perustuu säilöntäliuokseen syötettyjen inhibiittoreiden reaktioon. Inhibiittorit hidastavat kemiallisia reaktioita, mutta eivät itse ole osallisina niissä. Inhibiittori muodostaa metallin pinnalle passivoivan tai peitekerrosta muodostavan kalvon. Peitekerrokset vaimentavat korroosion etenemistä ja passivoivat aineet muodostavat metallin pinnalle oksidifilmejä, jotka täysin ehkäisevät korroosio. (11, s. 6.)

Kattilaan liitetään kierrätyspumppu ja paisunta-astia. Kattilan paine lasketaan ja järjestelmä täytetään kokonaan happivapaalla kuumalla syöttövedellä. Kun kattilaa täytetään, inhibiittit annostella pumpun avulla kattilaan. Annostelu voi tapahtua esimerkiksi syöttövesipumpun imulinjaan. (11, s. 6.)

Säilönnässä käytetty säilöntäliuos poistetaan kattilasta ennen käynnistystä. Kattilan ulospuhallusta pidetään auki, jos ei pystytä varmistumaan kattilan täydellisestä tyhjentämisestä. Järjestelmä liitetään höyryverkkoon, kun kaikkialla kattilan näytteistä saadaan normaalit vesikemian arvot. (11, s. 6.)

5.4.4 Säilöntäliuoksen kierrätys ja lämmitys

Pitkässä säilönnässä säilöntäliuosta kierrätetään kattilassa, jotta saadaan aikaan säilöntäkemikaalien tasainen jakautuminen. Säilöntäliuosta ei ole välttämätöntä kierrättää jatkuvasti, vaan esimerkiksi kerran kuussa 10 tuntia. Ensimmäisen kuumakauden aikana kierrätystä suoritetaan kerran viikossa. Kierrätys toteutetaan erillisellä kierrätyspumppulla. Kierrätyksen imu otetaan yhdestä paikasta ja paineliitännät asennetaan kattilakohtaisesti säilöntäliuoksen kierron onnistumisen kannalta useisiin kohtiin. (20, s. 24.)

Lämmityksessä voidaan käyttää perinteistä lämmönvaihdinta. Fysikaalisessa märkäsäilönnässä voidaan käyttää erityistä höyrypyssyä (steam gun). Tässä menetelmässä kattilan laskuputkien ja nousuputkien kokoojatukkiin asennetaan höyrypyssy, joka ruiskuttaa matalapaineista tulistettua höyryä veden sekaan. Höyry lämmittää ja samalla sekoittaa vettä kattilassa. (12, s. 29–31.)

5.5 Vesi- ja hörypiirin kuivasäilöntä

Kattila säilötään kuivana, jos märkäsäilöntä ei ole mahdollinen. Tässä säilönässä pidetään vesi pois metallipinnoilta. Tärkein kuivasäilönnän kannalta huomioon otettava seikka on saada järjestelmä täydellisesti kuivaksi tyhjennyksen yhteydessä. Jos kattilaan jää vesitaskuja, ei kuivasäilöntää voida järjestää. (12, s. 34.)

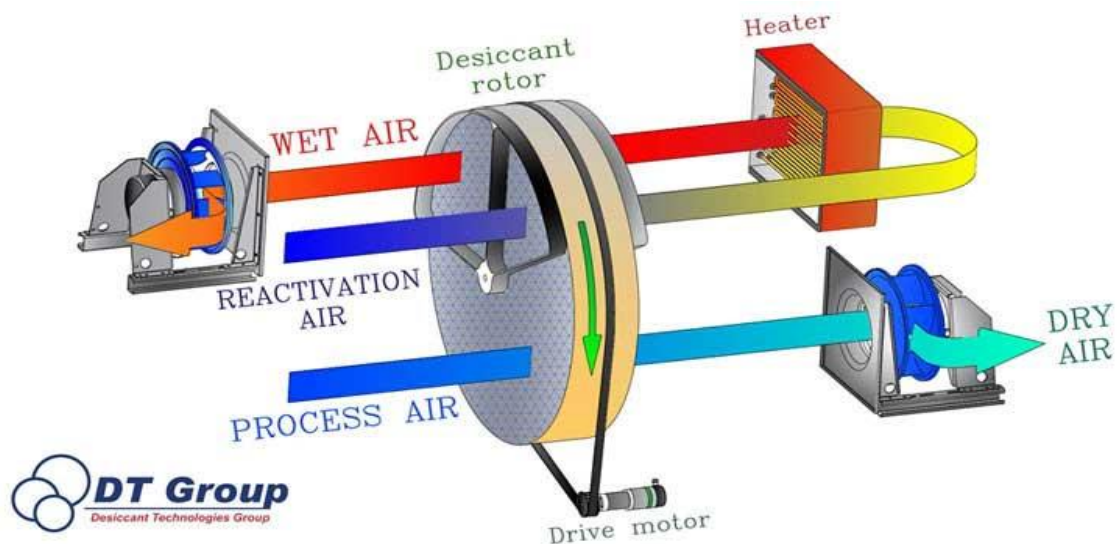
Kattila sammutetaan ja painetta lasketaan ulospuhalluksen kautta 6–30 bar:iin (12, s. 34). Vesipuolen tyhjennys suoritetaan mahdollisimman nopeasti kattilan sammuttamisen yhteydessä. Järjestelmän jälkilämpöä käytetään hyödyksi, jotta putkistoihin jäänyt vesi höyrystyy linjoissa. Tyhjennystä ja kuivaamista voidaan tehostaa käyttämällä tyhjöpumppua, venturia ja puhaltimia. Jos laitoksessa on liitántöjä käytössä oleviin linjoihin, on varmistettava venttiileiden tai muiden erotuslaitteiden pitävyydestä. (21, s. 2.)

Järjestelmän tyhjentämisessä huomioidaan turvallisuustekijät kuumen veden ja höyryn suhteen. Viemäroinnin kapasiteetti arvioidaan ennen tyhjennystä, jotta voidaan arvioida viemäroinnin kesto. Tyhjennys voi olla aikaa vievää ja työlästä. (12, s. 34.)

5.5.1 Säilöntä kuivalla ilmalla

Kuivailmasäilöntä soveltuu pitkäaikaiseen säilöntään. Säilöntäjärjestelyt vaativat ilmakeivaimen käyttöä, jolla on helppo järjestää suhteellisen paljon säilöntäkelepoista puhdasta kuivaa ilmaa. Kuivaa ilmaa puhalletaan järjestelmään, josta se syrjäyttää höyryt, joita järjestelmästä ei ole saatu poistettua. Ilman puhaltaminen järjestelmään aloitetaan välittömästi kattilan tyhjentämisen jälkeen, jottei hönkähöyry pääse lauhtumaan. (12, s. 35.)

Ilmakeivaimen toiminta perustuu sen kosteutta sitovaan pyörivään kiekkoon (kuva 12). Prosessoitava ilma läpäisee kiekon poikkipinta-alalta suuren alueen, jolla mahdollistetaan suuri ilman kuivauskapasiteetti. Kiekko on valmistettu kosteutta sitovasta aineesta, joka pyörii noin 3 kierrosta minuutissa. Kiekon elvytykseen käytetään lämmitettyä reaktioilmaa, joka lämmitetään 90–140 °C:seen. (22.)

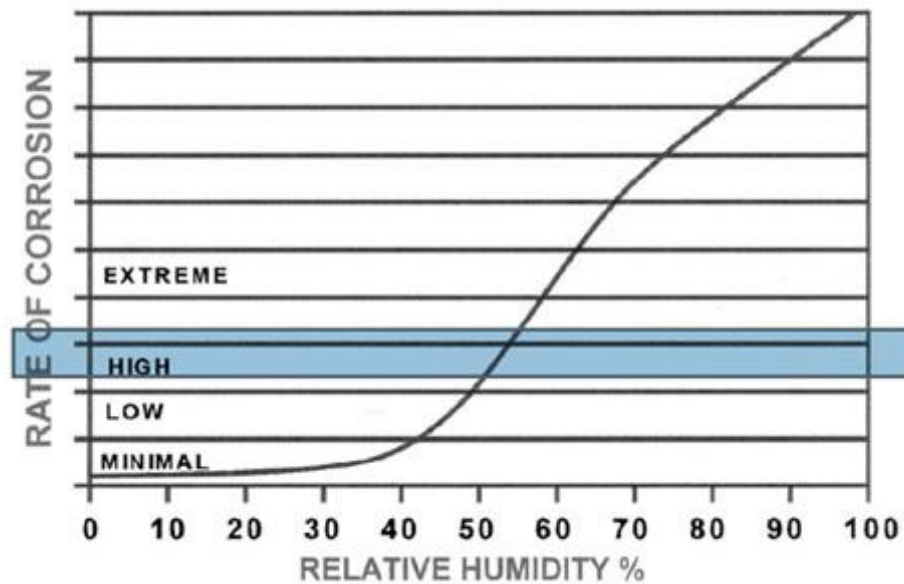


KUVA 12. Ilmakuivaimen periaatteellinen toiminta (22)

Puhaltimen kapasiteetti täytyy olla tarpeeksi suuri, jottei laitoksen virtausvastukset voita puhaltimen tehoa. Puhalluspinta-ala säilöttävään järjestelmään on oltava mahdollisimman suuri. (12, s. 35.) Säilöttävässä järjestelmässä tulee ilman vaihtua keskimäärin kaksi kertaa tunnissa (20, s. 24).

Riippuen laitoksen monimutkaisuudesta voi siinä ulospuhalluspisteitä useita. Ulospuhallusventtiileitä voidaan tarpeen vaatiessa säätää, saaden aikaan optimaalinen ilman virtaus kattilassa. Imuilmanakanavaan asennettu ilmansuodatin puhdistaa ilmaa, parantaa säilönnän onnistuvuutta ja tehostaa kuivausta. (12, s. 35.)

Varsinkin teollisuusympäristössä suositellaan imuilman suodatusta pölyisen ilman johdosta. Imuilmaa ei myöskään kannata ottaa varsin kosteasta paikasta. Säilönnän aikana valvotaan puhallusilman sisään menevän ja ulostulevan ilma suhteellista kosteutta, joka on oltava $< 30 \%$. (20, s. 24.) Kuvasta 13 nähdään kuinka korroosio laskee minimiin ilman kosteuden laskettua 30% :iin.



KUVA 13. Ilmankosteuden vaikutus korroosionopeuteen ferriittisillä teräksillä (23)

Kuivaimen puhallusilman kastepiste saa olla maksimissaan $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kun tämä kastepiste saavutetaan kaikissa ulospuhalluspisteissä, voidaan puhaltimen kapasiteettiä pienentää niin, että 1 % säilöntätilavuuden ilmasta vaihtuu tunnin aikana. (17, s. 29.) Säilönnän pieni ylipaine estää ympäristön kostean ilman pääsyn järjestelmään (20, s. 24). Kuivan ilman saavuttaminen kaikki ulospuhalluspisteet saattaa kestää jopa 24–48 tuntia, monimutkaisissa laitoksissa tätäkin enemmän. (12, s. 35.)

5.5.2 Säilöntä kuumalla ilmalla

Kuumailmasäilönnän toimivuus perustuu kuuman ilman kykyyn sitoa enemmän kosteutta kuin kylmä ilma. Säilönnässä järjestelmään puhalletaan kuumaa ilmaa. (12, s. 35.) Säilönnän aikana on metallin lämpötila oltava kaikkialla ilman kastepistettä korkeammalla, muutoin ilmassa oleva kosteus tiivistyy ja aiheuttaa korroosiota. Valvonta vaatii useita lämpötilamittauspisteitä, jos voidaan epäillä lämpötilan laskevan alle kastepisteen. Ulospuhallusilmaa on valvottava, ettei suhteellinen kosteus saavuta kylläisyysastetta. (12, s. 35.)

5.5.3 Kuivasäilöntä muilla kaasuilla

Säilöntä muilla kaasuilla perustuu hapensyrjäyttämiseen. On siis kiinnitettävä erityistä huomiota siihen, ettei happea ole. Vuodot aiheuttavat tukahtumisvaaraa.

Typpi-, argon- tai muu inertti kaasu

Kattilan paine lasketaan 5–10 bar:iin. Kaasu syötetään järjestelmään höyrypuolelle mahdollisimman kaukaiseen ja korkeaan kohtaan. Kattilan lämpötilan laskettua alle 100 °C:n, avataan varovasti pohjatyhjennyksiä ja annetaan kaasun syrjäyttää vesi. (11, s. 14–15.)

Veden loputtua, kunnes vain kaasu virtaa tyhjennyksistä, suljetaan venttiilit. Kaasun syöttäminen järjestelmään onnistuu helpommin kattilan ollessa vesitäytössä kuin ilmatäytössä. Syrjäytyksen jälkeen avataan kaasun syöttölinjasta paineenpitojärjestelmä, joka pitää kaasun jatkuvasti 0,05–0,5 bar:n ylipaineessa. Säilönnän valvonta perustuu kaasun ylipaineen tarkastuksiin. (11, s. 14–15.)

Ammoniakkikaasu

Ammoniakkikaasua voidaan käyttää säilönnässä, mutta sen käyttö ei ole yleistä kaasun hajun ja räjähdysvaaran takia. Räjähdysvaarallinen suhde ammoniakin ja ilman kanssa on 16–27 % ammoniakkia. Kaasun käytöllä on hyvätkin puolensa, sillä järjestelmää ei tarvitse saada täysin kuivaksi. Veteen liukeneva ammoniakki nostaa veden alkalipitoisuutta niin korkeaksi, ettei syöpymistä tapahdu. (11, s. 16.)

Säilöntä toteutetaan laskemalla kattilan painetta 5–10 bar:iin. Kaasupatteristo yhdistetään järjestelmään höyrypuolelle, mahdollisimman kaukaiseen korkeaan kohtaan. Pohjatyhjennyksiä avataan varovasti, kunnes vain ammoniakki virtaa tyhjennyksistä. Venttiilit suljetaan ja avataan kaasun paineenpitojärjestelmä, jolla ylläpidetään 0,05 bar:n ylipaine. (11, s. 16.)

Kattilan uudelleenkäyttöön otossa ammoniakki poistetaan järjestelmästä, sillä usein lauhduttimessa olevat kuparimetallit eivät kestä ammoniakkia. Ammoniakki on myös myrkyllinen, tukahduttava ja räjähdysvaarallinen kaasu, jolloin on kiinnitettävä erityistä huomiota turvallisuuteen. (11, s. 16.)

5.5.4 Säilöntä kuivausaineilla

Kosteutta sitovia kiinteitä kuivausaineita käytetään yksinkertaisten kohteiden säilöntään. Järjestelmä on saatava täysin kuivaksi ja sinne jäänyt hönkähöyry puhalletaan pois. Kuivausaineet annostellaan laakeisiin astioihin ja asetetaan säilöttävään järjestelmään. Järjestelmä eristetään ulkoilmasta sulkemalla kaikki venttiilit ja luukut. (11, s. 10.)

Kuivausaineita ovat esimerkiksi silikageeli, kalsiumoksidi CaO ja aluminiumoksidi Al₂O₃ (11, s. 10). Usein käytetty silikageeli voi sitoa itseensä noin 25 % painonsa verran kosteutta ja säilöntään käytettävä määrä voidaan laskea kaavalla 2 (12, s. 36). Kaavassa tarvitaan ilman absoluuttista kosteutta, joka saadaan taulukosta 4.

$$M = 4 \times S_N \times V$$

KAAVA 2

M = silikageelin määrä [g]

S_N = absoluuttinen kosteus [g/m³] kts. taulukko 4

V = kuivattavan järjestelmän tilavuus [m³] (12, s. 36)

TAULUKKO 4. Kostean ilman vesisisältö (24)

Suhteellinen kosteus:	20%	40%	60%	80%	90%	100%
Ilman lämpötila °C	absoluuttinen kosteus: g/m ³					
80	58	116	174	232	261	290
70	39	78	118	157	176	196
60	26	52	78	104	117	130
50	17	33	50	66	75	83
40	10	20	31	41	46	51
30	6,1	12	18	24	27	30
20	3,5	6,9	10	14	16	17
10	1,9	3,8	5,6	7,5	8,5	9,4
0	1,0	1,9	2,9	3,9	4,4	4,9
-10	0,44	0,88	1,3	1,8	2,0	2,2
-20	0,18	0,35	0,53	0,70	0,79	0,88
-25	0,11	0,22	0,33	0,44	0,50	0,55
-30	0,07	0,13	0,20	0,26	0,30	0,33

5.6 Tulipintojen säilöntä

Savukaasupuolen säilönnässä pidetään kosteus pois metallipinnoilta. Erityisen tärkeään rooliin savukaasupintojen säilöntä tulee silloin, kun laitos käyttää rikkiä sisältävää polttoainetta. Tulipinnoille voi jäädä rikkiä sisältävää tuhkaa, vaikka

kattila nuohotaan ennen pysäytystä. Rikin oksideja syntyy normaalissa palamisessa, mitkä eivät ole käytön aikana ongelmallisia korkean savukaasujen lämpötilan johdosta. Tuhkassa olevat rikkioksidit SO_2 ja SO_3 ovat hydroskooppisia ja muodostavat veden kanssa rikkihappoa, joka on erittäin syövyttävää ainetta. (12, s. 52.)

5.6.1 Kuumasäilöntä

Kuumasäilönnässä tuodaan tarkoituksellisesti lämpöä pinnoille, jotka ovat kosketuksissa savukaasujen kanssa. Lämpötilan tulee olla $> 77\text{ °C}$, joka estää kosteuden tiivistymisen pinnoille. (17, s. 33.) Lämpöä voidaan tuoda sytyttämällä kattilaan tulia, tuomalla lämpöä vesi- ja höyrypuolelta tai sähkölämmittimillä tulipesän pohjalle. Tulia tulee käyttää rikkivapaalla polttoaineella. (12, s. 52–53.)

5.6.2 Kylmäsäilöntä

Säilönnän aikana metallipinnat pidetään kosteudesta vapaana. Kosteutta ehkäistään käyttämällä kuivailmapuhallinta, kuumailmapuhallinta tai kuumalamppuja. Myös näiden yhdistelmä on toimiva ratkaisu. (17, s. 33–34.) Puhaltimia käytettäessä, ilman tulee vaihtua kerran 2,5 tunnissa. Puhaltimien käyttö aloitetaan mahdollisimman aikaisin. Kattilassa pidetään pieni ylipaine kuivauksen aikana, estäen ulkopuolisen kostean ilman pääsy metallipinnoille. Kun poistuvan ilman suhteellinen kosteus on jokaisesta ulospuhalluspisteestä alle 30 %, voidaan puhaltimien tehoa laskea. (12, s. 53.)

5.7 Pumppujen säilöntä

Pumppujen säilönnässä otetaan huomioon ympäristön olosuhteet. Pumppuja säilötään ulkoilmassa, varastossa tai paikallaan asennettuna. Lämpötila voi laskea eri säilöntätavoilla alle 0 °C tai säilöntäolosuhteet voivat olla pölyiset tai jopa lumiset. (25.)

Pumput tyhjennetään ja huuhdellaan, puhalletaan kuivaksi, suljetaan jäähdytysvesilinjojen paine puoli ja sammutetaan mahdolliset voiteluöljyn kierrätyspumput. Tyhjennysyhteet jätetään auki. (26). Säilöntä voidaan jakaa ulko- ja sisäsäilöntään.

Sisäsäilöntä

Sisäsäilönnässä lämpötila pysyy vakiona läpi säilönnän. Pumput tyhjennetään pumpattavasta fluidista ja puhalletaan kuivaksi paineilmalla. Imulinjan tyhjennetään pumpun tyhjennyksen yhteydessä, jos se on erityisen pitkä. (25.)

Pitkässä säilönnässä pumpun pesään suihkutetaan korroosiosuojauöljyä. Vaihdelaatikoiden öljyt poistetaan ja suihkutetaan korroosiosuojaöljyä vaihdelaatikoon. Pumppuyksikön ulkopuoliset maalaamattomat kohdat uudelleenmaalataan ja paljaat metallipinnat suojataan korroosiosuojaöljyllä. Avonaiset aukot peitetään, eikä laitetta säilytetä lattian tasolla. (25.)

Ulkosäilöntä

Ulkosäilönnässä seurataan sisäsäilönnän periaatteita, joiden lisäksi huomioidaan, että ulkosäilönnässä laite suojataan säänkestävällä suojalla. Suoja voi olla muovia, kangasta, pelti-, puulaatikko tai näiden yhdistelmä. Ulkosäilönnässä lämpötila voi laskea alle 0 °C:n. Jotkin laitteet tai laitteen osat eivät välttämättä kestä kylmyyttä. (25.)

5.8 Polttoainelinjojen säilöntä

Polttoaineet voidaan jakaa kolmeen osaan niiden fysikaalisen olomuodon perusteella: kiinteät, nestemäiset ja kaasumaiset polttoaineet.

Kiinteiden polttoaineiden varastot ja bunkkerit tyhjennetään yli 4 viikkoa kestävässä pysäytyksessä. Tyhjennyksellä estetään itsesyttymisvaara, leimahtaminen ja tulipalo varsinkin, jos polttoaineessa on kaasuuntuvia komponentteja tai polttoaine on pölisevää. Tyhjennyksellä myös vähennetään kastuneen polttoaineen hukkamäärää. Tyhjennystoimenpiteet suoritetaan myös polttoaineen jakelu- ja syöttölaitteille paloriskien johdosta. (12, s. 47.)

Nestemäisten polttoaineiden varastoa ei tarvitse tyhjentää, mutta mahdollinen kondensoituva vesi on huomioitava varastoinnin aikana ja sen jälkeen. Polttoainesuodattimet puhdistetaan tai vaihdetaan ja jätetään paikoilleen säilönnän ajaksi. Poltinsauvat vedetään ulos ja puhdistetaan. (12, s. 47.)

Kaasumaisten polttoaineiden linjat inertoidaan. Inertoiminen suoritetaan yleensä tyypellä. Jos inerttikaasu on polttoainetta raskaampaa, on inertoiminen suoritettava alhaalta käsin, ja inertin kaasun ollessa kevyempänä suoritetaan inertoiminen ylhäältä. Linjan tyhjentyminen voidaan todeta, kunnes ulospuhalluslinjassa kaasun konsentraatio on $< 0,5 \%$. (12, s. 47.)

5.9 Säilöntäkemikaalit

Haihtuvat kemikaalit ovat turallisimmat ja soveltuvimmat kattiloiden säilöntään. Usein käytetään alkalointikemikaalina ammoniakkia ja hapensidontakemikaalina hydratsiinia. Kemikaalinen säilöntävesi poistetaan kattilasta ennen käynnistystä. Veden vaihtamisessa kattila huuhdellaan tarkasti. (27.)

5.9.1 Yleistä

Kemikaalin toimittajan tulee antaa aineen käyttäjälle tiedot aineen koostumuksesta ja ominaisuuksista sekä hajoamistuotteista ja niiden vaikutuksista. Laitoksen käyttöolosuhteisiin huonosti soveltuvat kemikaalit voivat jopa nopeuttaa korroosiota. Kemikaalin käyttö saattaa vaikuttaa mittauslaitteisiin, kuten esimerkiksi kalvoa muodostavat amiinit häiritsevät magneettisia virtausmittauksia. (28, s. 15.)

Kemikaaleja annostellaan säilöntäpiiriin pH:n säätämiseksi 10–10,5 alueelle, ja usein käytetään kemiallista hapensidontaa. Kemikaalien syöttöjärjestyksessä huomioidaan niiden ominaisuudet. Jos alkalointikemikaali annostellaan ensin, ei voida enää pH:ta säätävää korroosiokemikaalia annostella ilman pH:n muutosta. Säilöntäliuoksen vesikemia pidetään mahdollisimman yksinkertaisena. (28, s. 14–15.)

Kemikaalien annostus on riippuvainen laitoksesta. Kemikaalien syöttöpiste sijoitetaan jo käytössä olevaan kemikaalien syöttölinjaan tai kiertoveden paluulinjaan pumpun imuun. Kemikaalien annostus on pientä, ja sekoittuessaan säilöntäpiiriin, ei liuos muodosta välitöntä työturvallisuus- ja terveysvaaraa käyttö- ja kunnossapitotöissä. (28, s. 14–15.)

Raa'an kemikaalin annostelussa noudatetaan huolellisuutta sekä käytöturvallisuustiedotteiden ohjeita ja määräyksiä. Annostelupaikalla tulee olla kemikaalien

ajantasaiset käyttöturvallisuustiedotteet ja kemikaalien vaaraa ilmoittavat kyltit näkyvällä paikalla. Lisäksi annostelusta vastaava henkilö koulutetaan kemikaalien käyttöön. (28, s. 14–15.)

5.9.2 Hapenpoistokemikaali

Hapensidontakemikaalina käytetään usein hydratsiinia, vaikka se luokitellaan myrkyksi ja syöpää aiheuttavaksi. Hydratsiinin hajoamistuotteet eivät ole säilönässä haitallisia. Hapen kanssa reagoidessaan hydratsiini muodostaa typpeä ja vettä. Lämpötilan noustessa yli 200 °C:n hajoamistuotteet ovat typpi ja ammoniakki, joka nostaa veden pH:ta. Hydratsiinin sijasta voidaan käyttää myös muita haihtuvia hapensidontakemikaaleja kuten carbohydratzidea. (27, 28.)

Hydratsiinin varoitusmerkinnät ovat myrkyllinen [T] ja ympäristölle vaarallinen [N]. Hydratsiinia käsiteltäessä on vältettävä kaasujen ja höyryjen hengittämistä, ihokosketusta ja tuotteen joutumista silmiin. Vaaraa osoittavat standardilausekkeet [R lausekkeet] riippuvat hydratsiinin pitoisuudesta. (28, s. 16.) Hydratsiinin on todettu olevan erinomainen kattilan säilöntäkemikaali, vaikka sen käyttöä tulevaisuudessa todennäköisesti tullaan rajoittamaan sen myrkyllisyyden takia. (29.)

Annostusmäärä on käytännön nyrkkisäännön mukaan viisinkertainen happimäärään verrattuna. Tarkemmin se voidaan laskea kaavalla 3 (30, s. 297–298).

$$g = 3C_1 + 0,3C_2 + 0,15C_3$$

KAAVA 3

g = hydratsiinin annostusmäärä

C_1 = syöttöveden happipitoisuus

C_2 = syöttöveden Fe_2O_3 -pitoisuus

C_3 = syöttöveden CuO -pitoisuus

5.9.3 pH:n säätökemikaali

Säilöntäliuoksen pH:n nostoon voidaan käyttää vesiliukoisia kemikaaleja. Yleisimmin käytetty kemikaali on ammoniakki. Liiallista pH:n nosta on kuitenkin vältettävä, sillä se voi kiihdyttää korroosiota.

Ammoniakki

Ammoniakki reagoi veden, happojen ja hapettimien kanssa muodostaen lämpöä. Kullan, hopean ja elohopean sekä näiden yhdisteiden kanssa ammoniakki muodostaa räjähtäviä yhdisteitä. Halogeenit kuten fluori, kloori, bromi ja jodi sekä hypokloriitti ja etyleenioksidi voivat aiheuttaa räjähdyksen sekoittuessaan ammoniakin kanssa. Ammoniakki liuottaa monia alkalimetalleja sekä kalsiumia, strontiumia ja bariumia. Ammoniakki syövyttää erityisen voimakkaasti kuparia, mutta myös alumiinia, hopeaa ja sinkkiä sekä näiden seoksia. (31, s. 3–4.)

Natriumhydroksidi

Natriumhydroksidi reagoi veden ja happojen kanssa muodostaen lämpöä. Natriumhydroksidi absorboi ilmasta hiilidioksidia ja vettä. Metallit, kuten sinkki, magnesium ja alumiini, syöpyvät ollessaan kosketuksissa natriumhydroksidin kanssa. Syöpyminen vapauttaa räjähdysvaarallista ja palavaa vetykaasua. (32, s. 2.)

5.9.4 Korroosionestokemikaalit

Hyxo oy:n valmistama Hydro-X E10 soveltuu laitoksille, joilla on keskeytyvää käyttöä tai terminen kaasunpoisto uupuu. Kemikaali muodostaa korroosiolta suojaavaa kerrosta, joka suojaa hapen vaikutuksilta. Kemikaali irrottaa kerrostumia ja estää niiden muodostumisen. Se estää myös veden kuohumista, alentaa kovuutta ja säätää pH:ta. Kemikaali soveltunee paremmin käytössä olevan kattilan kemikaaliksi kuin säilöntäkemikaaliksi sen ominaisuuksien johdosta. (33, s. 16.)

5.9.5 Korroosioinhibiitit

Ashland-yhtiön valmistama Protecsol 770P -korroosioinhibiitti soveltuu kattilalaitosten pitkäaikaiseen säilöntään, jopa 24 kk:si. Inhibiitti toimitetaan jauheena, ja se voidaan käyttää yksinkertaisissa järjestelmissä kuivana ja isoissa laitoksissa veteen liuotettuna. Tuote muodostaa metallin pinnalle monomolekulaarisen inhibiittikalvon. Inhibiittiä ei tarvitse poistaa kattilasta uudelleenkäynnistyksen yhteydessä. Kemikaalia annostellaan märkäsäilönnässä 0,3 % veden määrästä ja kuivasäilönnässä 1,5 kg:aa 5,5 m³ kohden. Kemikaalia käsitellään normaaliin kemikaalin tapaan ja huolehdittava hengityksen suojauksesta pölyä vastaan. (34.)

Ashland-yhtiön valmistama ProtecSol 649L on väkevöity neste, joka on kehitetty suojaamaan metalleja lyhyt- tai pitkäaikaisten seisontakausien aikana. Tuote soveltuu höyrykattiloiden pitkäaikaiseen märkäsäilöntään, jopa 24 kk. Tuote muodostaa monomolekulaarisen inhibiittikalvon metallin pinnalle. Tuotetta lisätään 0,2 % lieriöön tai syöttöveteen ja varmistetaan sen sekoittuminen. Inhibiittoria ei tarvitse poistaa täysin otettaessa laitteisto uudelleen käyttöön, mutta vesipinta lasketaan normaalille tasolle ja ulospuhallusta pidetään auki runsaasti. (35.)

Ashland-yhtiö valmistaa tuotetta Boilex 505, jota käytetään kattiloiden vedenkäsittelyaineena märkäsäilöntään. Se poistaa happea ja nostaa veden pH:ta. Hapekasta vettä säilöittäessä huoneen lämpötilassa tarvittava annostelu on 0,5–1,0 l/m³. Muissa olosuhteissa tarvittava annos voidaan laskea siten, että yhden happigramman sitomiseen tarvitaan kuusi grammaa Boilex 505 säilöntäkemikaalia. Tuotetta käsitellään vahvojen kemikaalien tapaan. (36.)

6 KATTILA 3:N SÄILÖNTÄ

6.1 Kattila 3:n tiedot

Raahen Voiman kattila 3 on vuonna 1975 rakennettu perinteinen yksilieriöinen luonnonkiertokattila, jonka höyryn arvot ovat 84 bar abs ja 525 °C. Kattilan lämpöteho on 167 MW ja höyrykapasiteetti 210 t/h. Laitoksen pääpolttoaineena toimii masuunikaasu ja varapolttoaineena koksikaasu ja raskaspolttoöljy. (1.)

Kattila säilötään käyttöön jäävien voimalaitoksen varalaitokseksi viiden vuoden ajaksi. Kattila 3:n suunniteltu vuosittainen käyttö on kahdesta kolmeen viikkoa aina käytössä olevien voimalaitosten vuosihuoltojen aikana. (2.)

6.2 Kattilan säilöntäpiiriin kuuluvat komponentit

Kattilalaitoksen säilöntä on rajattu syöttövesipumpuista tulistetun höyryn pääsulkuventtiileihin. Linjaan kuuluu useita komponentteja, joista osa jätetään säilönnänpöydästä pois. Opinnäytetyössä perehdytään seuraavien komponenttien säilöntään (2):

- syöttövesipumppu
- tulistimien ruiskuvesilinjat
- ekonomiser
- masuunikaasupatteri
- lieriö
- jatkuvaulospuhallussäiliö
- laskuputket
- höyrystinputket
- tulistimet
- masuunikaasuputki paloventtiileiltä kattilaan
- savu-, tulipinnat ja kaasukanavat. (2.)

Opinnäytetyössä kattilalaitoksen säilönnässä on jätetty pois

- syöttöveden korkeapaine-esilämmittimet
- kattilan nuohouslaitteet. (2.)

6.3 Säilöntämenetelmien vertailu

Tilaaaja toivoi lisäinformaatiota kuiva- ja märkäsäilönnästä 11.3.2015 pidetyssä palaverissa. Kyseisistä säilöntämenetelmistä tilaajalla on tarjoukset kolmannelta osapuolelta. Opinnäytetyössä annetaan tilaajalle suosituksia, kumpi menetelmä soveltuu paremmin kyseiselle laitokselle ja mitä huomioita säilönnät vaativat. (2.)

Kuiva- ja märkäsäilönnän erona on, että kuivasäilönnässä järjestelmä on saatava täydellisesti kuivaksi, kun taas märkäsäilönnässä järjestelmä on saatava täydellisesti täyteen vettä. Kuivasäilönnässä vesilukot ovat säilönnän kannalta tuhoisat ja märkäsäilönnässä ilmataskut voivat tuottaa epäonnistuneen säilönnän.

Laitoksen sammuttamisen yhteydessä ei ole enää lämmönlähdettä. Suuri ongelma tulee säilönnän aikana olemaan talviajan kylmyys. Vaikka lämpötilan laskeminen hidastaa kemiallisia reaktioita, suurempi ongelma on laitteiden jäätymisvaara niin märkä- kuin kuivasäilönnässä.

Kattilalaitoksen käytön aikainen toimivuus ja korroosion kesto riippuvat kattilaputkistoa suojaavasta magnetiittikalvosta. Säilönnän aikana kattila ei ole normaalissa tilanteessa ja suojakalvon muodostuminen on tapahduttava muulla tavalla.

Säilönnän suunniteltu sykli on yksi vuosi viiden vuoden ajan. Kattila on normaalissa käytössä kahdesta kolmeen viikkoa kerran vuodessa. Käytännöllisyys, helppous, yksinkertaisuus ja taloudellisuus säilönnän alkaessa, aikana ja purkaessa on yksi ratkaiseva kohta säilöntämenetelmää valittaessa.

Kattila 3 otetaan säilönnästä pois vain suunnitelluissa tilanteissa, eli käynnissä olevien laitosten vuosihuoltojen yhteydessä. Jos käynnissä olevalle laitokselle tulee yllättäviä poikkeustilanteita, tuotanto ohjataan toiselle käynnissä olevalle kattilalaitokselle.

6.4 Tarjousten huomioita

Raahen Voiman saamat tarjoukset eivät ole enää voimassa, mutta oletettavasti uusien tarjouspyyntöjen sisällöt pysyvät ennallaan. Tarjottuihin säilöntämenetelmiin sisältyy säilöntälaitteiden asentaminen ja käyttöönotto. Asennuspaikat määrää työn tilaaja. Märkä- ja kuivasäilönnän asennuspisteet osoitetaan liitteessä 3.

Märkäsäilönnässä säilöntälinjojen asennus suoritetaan välittömään päähöyryventtiiliin läheisyyteen ja syöttövesipumpun jälkeiseen linjaan. Paluulinja asennetaan höyrystimen pohjatukkiin: etu ja takaseinäputkien jakolaatikkoon. Kuivasäilönnässä liitäntöjen asennukset suoritetaan välittömään päähöyryventtiiliin läheisyyteen. Ulospuhalluspisteet sijoitetaan tulistinten jälkeen, höyrystimen jälkeen, ekon jälkeen ja syöttövesipumpun jälkeen.

Asbesti ja muut vaaralliset aineet, työ, tunnistus, purku ja hävittäminen, eivät kuulu säilönnän toimittajalle. Vastuu vaarallisten aineiden tunnistaminen, käsittely ja kuljettaminen kuuluu tilaajalle. (37.) Märkäsäilönnässä toimittaja jättää tilaajan vastuulle seuraavat:

- yllä mainitut vaaralliset aineet
- märkäsäilöntäjärjestelmän vienti etävalvontajärjestelmään
- vesi, säilöntäkemikaalit, paineilma ja valaistus
- instrumentointi, sähkö ja automaatio
- sosiaalitilat
- viranomaistarkastukset
- teline- ja eristystyöt
- rakennustekniset työt. (37.)

Lisäksi märkäsäilöntätarjouksessa ei mainita lämmityksessä tarvittavan lämmönlähteen liittämistä säilöntäjärjestelmään. Tilaajan on syytä tarkentaa sopimusta lämmityksen asennuksesta. Tarkennusta vaatii myös kemikaalien syöttö. Tarjouksissa kemikaalit syötetään olemassa olevaa kemikaalilinjaa hyödyksi käyttäen. Tätä linjaa ei kuitenkaan voida käyttää, jolloin syöttö joudutaan asentamaan uudelle paikalle, todennäköisesti kierrätyspumpun imulinjaan.

Kuivasäilöntä järjestelyt sisältävät eri laitteita kuin märkäsäilöntä. Toimittajan kuivasäilöntätarjoukseen ei sisälly kaikkia materiaaleja. Kuivasäilönnässä toimittaja jättää tilaajan vastuulle seuraavat:

- yllä mainitut vaaralliset aineet
- kuivasäilöntäjärjestelmän vienti etävalvontajärjestelmään
- vesi, paineilma ja valaistus
- instrumentointi, sähkö ja automaatio

- sosiaalityöt
- viranomaisarkistukset
- teline- ja eristystyöt
- rakennustekniset työt. (38.)

Tilaajan on hyvä tietää millaisia kuivailmakoneita säilöntätarjous sisältää. Koneiden kuivaustehoa voidaan näin ollen ennakoida viiden vuoden ajalle. Kuivauskennojen uusiminen tuottaa säilöntään lisäkustannuksia.

6.5 Säilöntätoimenpiteet kattilalaitoksen komponenteille

Seuraavassa perehdytään, millä tavalla laitoksen komponentit tullaan säilömään niin kuivana kuin märkinäkin. Eri komponenteista tutkitaan hieman tarkemmin, mitä säilöntämenetelmä vaatii kyseiselle komponentille ja perehdytään ongelma-kohtiin.

6.5.1 Kattilasäilöntään siirtyminen

Märkäsäilöntä

Märkäsäilönnässä kattila täytetään kokonaan vedellä tulistimia myöten. Kattilan sammuttamisen yhteydessä painetta vapautetaan ja vettä pumpataan kattilaan. Kattilaan jäävät höyrytaskut eivät ole ongelmallisia, sillä lämpötilan laskiessa höyry lauhtuu ja muuttuu vedeksi. Höyryn lauhtumisen aiheuttamaa alipainetta tulee välttää, sillä se voi synnyttää imun kattilaan muodostaen ilmataskuja. Täytön aikana kattilassa pidetään pieni ylipaine.

On turvallisempaa käynnistää kattila remontin jälkeen ja tuottaa höyryä, jolla ilma syrjäytetään. Ilman syrjäyttäminen vedellä voi olla ongelmallista ja hankalaa. Samoin on remontin aikainen vesipuolen ilmaus tärkeää.

Kuivasäilöntä

Kuivasäilönnässä järjestelmä on saatava täysin kuivaksi. Kattilan sammuttamisen yhteydessä rakenteissa on vielä runsaasti jälkilämpöä, joka höyrystää vettä ja samalla estää höyryn lauhtumisen. Kuivan ilma puhallus on siis aloitettava välittömästi sitten, kun se on mahdollista, jotta höyry saadaan poistettua järjestel-

mästä. Tyhjennys voi olla työlästä ja haastavaa, ja apuna voidaan käyttää tyhjöpumppuja, ventureita ja puhaltimia. Mahdollisia tyhjennysyhteitä voidaan joutua asentamaan, mikäli linjoissa on vesilukkopaikkoja.

6.5.2 Syöttövesipumppu

Tilaajan saamissa tarjouksissa ei kummassakaan menetelmässä mainita syöttövesipumpun säilöntää. Toimittaja on todennut Raahen Voiman tapauksessa syöttövesipumppujen säilönnän järkeväksi ratkaisuksi ilmasäilönnän (39). Normaleissa säilöntätapauksissa syöttövesisäiliö on mukana säilönnässä, toisin kuin Raahen Voiman tapauksessa. Kun syöttövesisäiliö on mukana säilönnässä, pumpun säilöminen samaan piiriin on järkevää. (39.)

Pumpun jäähdytysvesilinjat ja -patterit tyhjennetään ja tyhjennyslinjat jätetään auki. Samoin toimitaan myös pitkissä imulinjan tapauksissa. Jäähdytysveden virtaus loppuu ja linja saattaa talvella joutua jäätymisvaaraan, mikä tarkoittaa, että koko linja on tyhjennettävä.

Pumppu voidaan toisaalta säilöä märkänä säilöntäpiirin mukana, mutta se vaatii putkiasennuksia. Pumpun läpi voidaan ohjata säilöntänestettä, josta se etenee normaaliin tapaan syöttövesilinjaa pitkin ekonomaisemmin tai suoraan säilöntäpumpun imuun.

6.5.3 Tulistimien ruiskuvesilinjat

Tulistimien ruiskuventtiilit pakko-ohjataan auki, jolloin säilöntäfluidi virtaa ruiskuliijoista. Tarjouksiin on sisällytetty ruiskulinjojen säilöntä niin kuiva- kuin märkäsäilönnässäkin. Säilönnässä varmistetaan säilöntäfluidin virtauksesta ruiskulinjoja pitkin. Virtausten optimoimiseksi voidaan ruiskuventtiileitä kuristaa tai avata. Linjojen ja venttiilien säilöntä ei vaadi muita erityistoimenpiteitä, vaan normaalit säilöntätoimenpiteet riittävät.

6.5.4 Ekonomiser

Syöttöveden esilämmittimessä on käytetty vaaka-asennossa makaavaa patteris-toa. Putkisto ei vaadi erityistoimenpiteitä märkäsäilönnässä eikä kuivasäilönnässä riipputulistinten tapaista vesilukkoa pääse syntymään. Normaalit säilöntätoimenpiteet riittävät.

6.5.5 Masuunikaasupatteri

Masuunikaasun esilämmittimessä on käytetty vaaka-asennossa makaavaa patteris-toa. Putkisto ei vaadi erityistoimenpiteitä märkäsäilönnässä, eikä kuivasäilönnässä u-putkimaisia vesilukkoa pääse syntymään. Normaalit säilöntätoimenpiteet riittävät.

6.5.6 Lieriö

Lieriö kokoaa märkäsäilönnässä säilöntänesteen. Säilöntäneste syötetään kattilaan kahdesta suunnasta: päähöyryventtiililtä ja syöttövesilinjasta (37). Kuivasäilönnässä syöttö tapahtuu päähöyrylinjaa pitkin ja ulospuhalluspisteitä on jaoteltu linjassa jo olemassa oleviin tyhjennysyhteisiin (38).

Lieriössä olevien mittausyhteiden ja näkölasien venttiileitä ei ole välttämätöntä sulkea. Valvonta- ja näyteyhteitä, joita käytetään säilönnän aikana ei suljeta. Kattilan lieriö ei vaadi muita erityistoimenpiteitä kuiva tai märkäsäilönnässä. Normaalit säilöntätoimenpiteet riittävät.

6.5.7 Jatkuva ulospuhallussäiliö

Jatkuva ulospuhallussäiliö, jup-säiliö, voidaan säilöä samaan säilöntäpiiriin niin kuiva- kuin märkäsäilönnässä, mutta se vaatii putkiasennuksia. Säilönnässä on kuitenkin huomioitava jup-säiliön tekninen toteutus. Lieriöstä lähtevä puhalluslinja päättyy säiliöön, josta lähtee kaksi linjaa.

Ensimmäinen linja menee syvesäiliöön, joka ei ole säilönnässä. Märkäsäilönnässä tämän linjan päähän on asennettava paluuyhde säilöntäpumpun imuun. Toinen linja kiertää liejunjäähdyttimen kautta ulospuhallussäiliöön. Tämänkin lin-

jan päähän on asennettavaa märkäsäilönnässä erillinen paluuyhde säilöntäpum-
pun imuun. Kuivasäilönnässä säiliöstä lähtevien linjojen päihin on asennettava
puhallusventtiilit.

Jup-säiliön säilönnän vaatimia asennuksia ei mainita tarjouksissa, ja ilman niiden
asennusta ei jup-säiliötä voida ottaa säilöntöjen piiriin. Linjojen asennuksen jou-
tunee suorittamaan tilaaja itse.

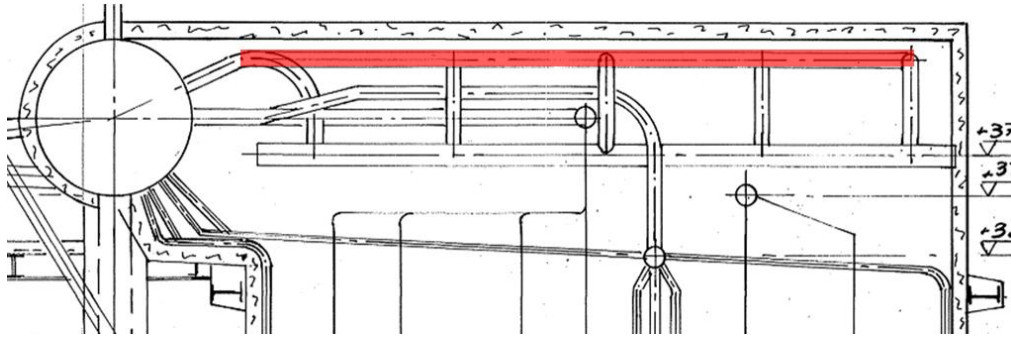
6.5.8 Laskuputket

Laskuputken virtausvastukset ovat pieniä eivätkä näin ollen ole vaativia täyttää
säilöntäfluidilla. Ongelmalliseksi voi muodostua virtauksen liian helppo kulku,
joka voi vähentää virtausta nousu- ja höyrystinputkissa. Laskuputkeen voidaan
asentaa virtausta vastustava levy, mutta sen poistaminen lieriöstä hidastaa katti-
lan uudelleenkäynnistystä varsinkin silloin, jos kattilalle tulee yllättävä käynnistys-
tilanne. Tällaista kuristuslevyä käytetään toisinaan kattilan peittauksen yhtey-
dessä.

6.5.9 Nousu- ja höyrystinputket

Nousuputket ovat höyrystinosan ongelmallisin osa säilöä. Säilöntäfluidin kierrätys
märkä- ja kuivasäilönnässä tasaisesti kaikkialla höyrystinosassa on hankalaa ja
voi tuottaa huonon tuloksen säilönnässä. Jos säilöntäfluidi saadaan alussa hyvin
kaikkialle höyrystintä ja sen konsentraatio on optimaalinen, ei sen huono virtaus
tuota ongelmaa korroosion estossa.

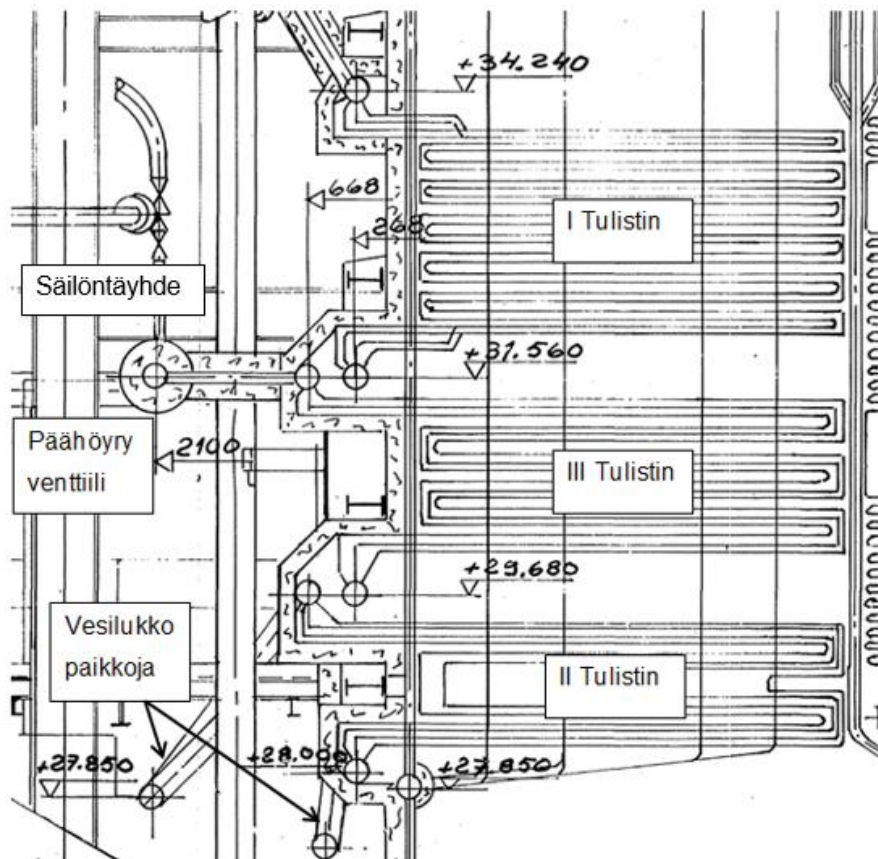
Höyrystinosan kattolaatikon kokoojatukissa on märkäsäilönnän kannalta epä-
edullinen rakenteellinen muoto, joka voi synnyttää putkistoon ilmataskun, mikäli
kattilaan on päässyt ilmaa (kuva 14). Tämä ilmatasku voi estää nesteen virtausta
kyseisillä nousuputkiosuuksilla.



KUVA 14. Kattilan hörystinosassa on märkäsälönnän kannalta huono ilmataskun paikka (40)

6.5.10 Tulistimet

Kattilan tulistinputket ovat vaakamallisia, ja kattilassa on kolme eri tulistinpatteria. II tulistin on osittain säteilytulistin ja kaksi muuta tulistinta ovat konvektiotulistimia. Tulistimet sijoittuvat kattilan ensimmäiseen vetoon, ja niiden järjestys nähdään kuvasta 15.



KUVA 15. Tulistimien sijoittelu ja vesilukkojen mahdollisuus (40)

Märkäsäilöntä

Märkäsäilönnän täytössä huomioidaan tulistinten järjestys. Kolmas tulistin on ensimmäisen ja toisen tulistimen välissä, jolloin tulistimien täyttö ei toteudu alhaalta ylöspäin. Tulistimiin voi syntyä ilmataskuja, mikäli järjestelmässä on ilmaa. Ilmataskuja voidaan välttää putkiston täyttötavalla, jossa tulistinlinjoja ilmataan samalla kun niitä täytetään rauhallisesti. Jos ilmaa on päässyt järjestelmään, kannattaa kattila käynnistää ja syrjäyttää ilma höyryllä ennen säilöntää.

Heti kattilan sammuttamisen yhteydessä tulistimet voivat olla yli 500 °C ja säilöntä neste alle 100 °C. Tällöin tulistimiin syntyy epäedullisia lämpöjännityksiä. Tulistimia on syytä jäähdyttää ennen märkäsäilönnän toteutusta siten, että lämpötilaero metallin ja veden välillä on 65 °C.

Kuivasäilöntä

Kuivasäilönnässä on tärkeää aloittaa ilman puhaltaminen linjaan mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Tulistimien jälkilämmöllä varmistetaan, ettei siellä oleva höyry pääse lauhtumaan. Varsinkin tulistimien välillä olevissa putkilenkeissä on lauhtuvalle höyrylle otollisia paikkoja muodostaa vesilukkoja (kuva 15). Lämpöjännitysten mahdollisuus on pieni ilman ominaislämpökapasiteetin alhaisen arvon takia.

6.5.11 Vesi- ja höyrylinjojen tilavuus

Vesi- ja höyrylinjojen täyttöön tarvitaan märkäsäilönnässä vettä ja kuivasäilönnässä ilmaa. Täytöstilavuus on voimalaitoksen kattiladokumenttien mukaan 70,87 m³. Dokumenttiin on kuitenkin käsin lisätty luku 76,9 m³. Opinnäytetyössä voitaneen käyttää vesi- ja höyryputkiston täytöstilavuutena arvoa 77 m³. (41)

Märkäsäilöntä

Kattilan säilöntään otetaan syöttövettä syöttövesisäiliö 3:sta, jonka tilavuus on 120 m³ (42). Säilöntäveden saanto tai sen loppuminen ei ole ongelmallista märkäsäilönnässä, vaikka lisäveden tuotanto keskeytyisikin.

Kuivasäilöntä

Kuivasäilönnässä suositeltava ilman vaihtuvuus on kaksi kertaa tunnissa. Toimitajan tarjouksessa kuivailmapuhaltimen kapasiteetti on 300 m³/h (38).

$$\frac{300\text{m}^3/\text{h}}{77\text{m}^3} = 3,9 / \text{h}$$

Kuivailmapuhaltimen kapasiteetti on riittävä kattilan vesi- ja höyrypiirin säilöntään.

6.5.12 Höyrystimen savu- ja tulipinnat

Savu- ja tulipintojen säilöntä voidaan toteuttaa vain kuivasäilöntämenetelmällä. Savukaasupuolen säilönnässä periaatteena on pitää pinnat kosteudesta vapaana. Kosteutta voidaan vähentää lämmöllä tai kuivalla kaasulla.

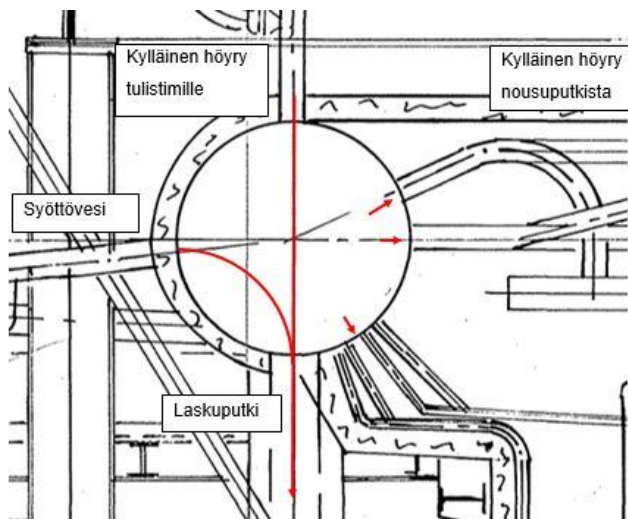
Märkäsäilöntä

Raahen Voiman saamassa märkäsäilöntätarjouksessa ei suoranaisesti mainita savu- ja tulipintojen säilöntää. Säilöntä on silti toteutettu märkäsäilönnässä säilöntäliuoksen lämmityksellä. Säilöntä ei yllä ilma- ja savukaasukanavistoon eikä ilman esilämmittimeen.

Lämmön tuominen pinnoille toteutetaan vesihöyrypiirissä kierrätettävän lämpimän säilöntänesteen avulla. Metallin pinnalla lämpötilan tulee olla yli 77 °C, jolla estetään ilmassa olevan kosteuden tiivistyminen ja korroosion muodostuminen putkipinnoille. 77 °C:seen päästään tarjotussa märkäsäilöntämenetelmässä, sillä lämmönsiirtimellä säilöntänesteen lämpötila ylläpidetään 80 °C (37).

Ongelmalliseksi muodostuu lämmön ylläpitäminen höyrystinosassa. Koska kyseessä on luonnonkiertoinen kattila, ei vesipuolella oleva säilöntäaine välttämättä kierrä höyrystimen nousu- ja laskuputkissa tasaisesti. Virtaus suuntautuu helpointa reittiä pitkin, eli oletettavasti sisähalkaisijaltaan suurempaa laskuputkea pitkin. Höyrystinosassa oleva säilöntäliuos voi kylmetä liikaa ja pahimmassa tapauksessa virtaus lakkaa kokonaan ja vesi jäätyy.

Kuvassa 16 on esitetty, kuinka säilöntäliuos kiertää helpointa reittiä. Märkäsäilönnän tarjouksessa säilöntäliuos kierrätetään kahden linjan kautta kattilan pohjatuokkiin, josta on kierrätyspumppulle imu. Syöttö tapahtuu syöttövesilinjan ja päähöyrylinjan kautta.



KUVA 16. Säilöntäliuos kiertää helpointa reittiä (40)

Kuvassa 14 todetaan mahdollinen ilmatasku nousuputkissa. Tämä ilmatasku voi hidastaa tai jopa estää veden virtausta kyseisissä nousuputkissa kokonaan. Tälle kohtaa savukaasupuolelle voi syntyä kylmä kohta, johon ilman kosteus pääsee tiivistymään.

Toisinaan kattiloiden peittauksen yhteydessä lieriön laskuputkeen asennetaan kuristinlevy, jolla pyritään peittauskemikaalien kierrätys saamaan parhaaseen mahdolliseen virtaukseen myös höyrystinosassa. Käytettäessä kuristinlevyä sen poistaminen lieriöstä hidastaa kattilan uudelleenkäynnistystä varsinkin silloin, jos kattilalle tulee yllättävä käynnistystilanne.

Lisäksi kattilan savukaasupellit ovat hieman väljät, ja sen johdosta tulipesään voi syntyä vetoa. Veto voi olla talvella kylmä ja jäähdyttää säilöntänestettä liiaksi. Vedon arvioiminen on haastavaa, ja voi olla, että kanavistoon joudutaan asentamaan umpilaippa pellistä, vanerista tai muovista.

Kuivasäilöntä

Toinen vaihtoehto on tuoda pinnoille kuivaa ilmaa. Kuivailmasäilöntätarjoukseen on sisällytetty savu- ja tulipintojen sekä ilma- ja savukaasukanavisto säilöntä. Tarjouksessa ei mainita ilman esilämmittimen säilöntää, joka tilaajan on syytä neuvotella säilöntätarjoukseen. Käytännössä se tarkoittaa puhallusilmaliitaintöjen asentamista kanavistoon siten, että esilämmitin jää säilönnän piiriin.

Ilman puhaltaminen tulipesään tulee suorittaa niin, että ilma vaihtuu tulipesässä, savukaasukanavissa ja ilmakehässä kerran 2,5 tunnissa ja ulospuhallusilman suhteellinen kosteus ei nouse yli 30 %:iin. Kattilan arvioitu ilma-, savukaasukanava ja tulipesän tilavuus on noin 2 000 m³. Tarjouksessa kuivailmapuhaltimen kapasiteetti on 10 000 m³/h.

$$\frac{10\,000\text{m}^3/\text{h}}{2\,000\text{m}^3} = 5/\text{h}$$

Kuivaimen kapasiteetti on riittävä tulipesän, savukaasu- ja ilmakehien säilöntään, ellei jopa liian suuri.

Huomioitavaa on kattilan savukaasupeltien tiiveyteen, jonka takia tulipesään voi syntyä vetoa. Veto voi tuoda pinnoille ei toivottua kosteutta, jolloin säilönnän toimivuus heikkenee. Vedon arvioiminen on haastavaa, ja voi olla, että kanavistoon joudutaan asentamaan umpilaippa pellistä, vanerista tai muovista.

6.5.13 Savukaasu-, ilmakehat ja ilmanesilämmitin

Märkäsäilöntä

Märkäsäilöntätarjoukseen ei ole sisällytetty savukaasu-, ilmakehan tai ilman esilämmittimen säilöntää. Höyrystin- ja tulistinputket ovat säilönnän piirissä vesi- ja höyrypuolen lämpimän säilöntänesteen ansioista.

Kuivasäilöntä

Kuivasäilönnässä kanavistot säilötään kuivalla ilmalla. Samalla regeneratiivinen savukaasuluvo on kuivasäilönnän piirissä, kunhan asennus toteutetaan tavalla, että luvo jää puhallinlinjojen sisäpuolelle. Jos tämä ei toteudu, säilöntä onnistuu myös niin, että vain savu- tai ilmakehaan puhalletaan kuivaa ilmaa ja luvoa pyöritetään jatkuvasti.

Tarjotussa kuivasäilöntämenetelmässä ilma imetään primääri-ilmakehasta, jonka asennus suoritetaan ilmakehan imuaukosta. Tämä tarkoittaa, että koko ilmakeha on säilönnän piirissä. Jos asennus suoritetaan jollain toisella tavalla, on tilaajan syytä keskustella toimittajan kanssa ilmakehan säilönnästä tarkemmin.

6.5.14 Mittausyhteet

Kattilan käynnin tarkkailemisessa käytetyt mittausyhteiden impulssiputket ovat säilönnän aikana ”pois” käytöstä. Impulssiputkien ja muiden valvontayhteiden linjat ovat umpiperiä. Mittausyhteiden lähtöventtiilit on suljettava ja jos mahdollista, myös mittauslinjat tyhjentää, sillä linjat voivat joutua pakkaselle alttiiksi ja jäätyä. Toisaalta kokemuksia venttiilien jättämisestä auki ei ole nostanut esille ongelmia. (27, 29.)

6.5.15 Polttoainekaasuputkien inertoiminen

Raahan Voiman saamiin tarjouksiin ei kuulu polttoainekaasuputken säilöntää. Kaasuputki on hyvä kuitenkin säilöä, sillä onhan se pääpolttoaineen kannalta tärkeä, ellei tärkein komponentti.

Kattilan pääpolttoaineena käytetty masuunikaasu on hajuton mauton ja väritön kaasu pääasiallisina komponentteina hiilimonoksidi, hiilidioksidi ja typpi. Varapolttoaineena käytetty koksikaasu on myös hajuton, mauton ja väritön kaasu pääkomponentteina hiilimonoksidi, vety ja propaani ja muut hiilivedyt. Kaasut ovat hengitettyinä hengenvaarallisia.

Kaasuputken säilöntä ja inertointi ei liity vesi- ja höyrypiirin säilöntään, mutta se on syytä säilöä. Erotus ja inertointi on suoritettava erityistä työturvallisuutta silmällä pitäen.

Kattilan ja kaasulinjan väli erotetaan sulkemalla sulku- ja paloventtiilit kaasulinjasta. Normaalissa erotuksessa kaasun inertoimiseen käytetään höyryä, mutta kattilan säilönnässä ei höyry ole hyvä vaihtoehto sen lauhtumisen takia. Kaasuputken inertoimiseen käytetään typpeä tai muuta inerttiä kaasua. Hiilidioksidia käytetään, jos tarjolla ei ole muuta inerttiä kaasua. Ilman käyttäminen on ehdottomasti kielletty sen sisältämän hapen johdosta. Polttokaasu ja happi sekoitettuna tuottavat räjähdysvaarallisen seoksen.

Kattila 3 masuunikaasun palo- ja sulkuventtiilit eivät ole olleet täysin pitäviä, mikä tarkoittaa, että erotus on varmistettava umpilapilla. Kaasuputken inertoimisessa

käytetty kaasu on syrjäyttänyt hapen ja umpilaipan asennuksessa on huomioitava tukahtumisvaara. Umpilaipan asennuksen jälkeen on varmistettava, että kaasuputki on ilman hapestaa vapaa käyttämällä inerttiä kaasua heikentämään happikorroosion syntymistä.

6.5.16 Polttoöljylinjojen erotus

Polttoainelinjojen erotus ei ole välttämätöntä, mutta ne voidaan suorittaa höyryllä puhaltamalla, minkä jälkeen höyry inertoidaan kaasulla. Ilman käyttämistä voidaan harkita, mutta sen sisältämän hapen johdosta voi kaasuntuvan öljyn synnyttää räjähtävän seoksen. Höyryn pieni lauhtuminen ei ole ongelma, sillä öljy muodostaa suojaavan kalvon putken sisälle. Suodattimet puhdistetaan tai vaihdetaan. Poltinsauvat sen sijaan otetaan ulos ja puhdistetaan. Polttoainesäiliöihin voidaan jättää polttoaine.

6.6 Toimenpiteet ennen säilöntää

Seuraavassa esitellään toimenpiteet, joita on otettava huomioon ennen säilöntöihin siirtymistä. Vertailua varten on liitteeseen 4 tehty visuaalinen taulukko, josta voidaan helpommin vertailla säilöntöjen toteutusta.

Märkäsäilöntä

Ennen märkäsäilöntään siirtymistä ovat säilöntäkemikaalit laitteineen ja kemikaalien käsittelyyn soveltuvat suojarusteet hankittava. Säilöntäliuoksen pH:n nostoon tarvittava alkalointikemikaalin suuntaa-antava määrä on noin 150 mg/l. Taivottava pH:n arvo on 10–10,5. Kattilan täyttömäärä on noin 77 m³, mikä tarkoittaa, että alkalointikemikaalia on hankittava vähintään $0,15 \text{ g/l} \times 77\,000 \text{ l} = 11\,550 \text{ g}$ eli 11,55 kg.

Hapensidontakemikaalia voidaan käyttää, kunnes saavutetaan normaalin kattilaveden happipitoisuus. Liiallinen hapensidontakemikaalin annostus ei ole vaarallista, mutta taloudellisesti epäjohtonmukaista. Hapensidontakemikaalina usein käytetty hydratsiinin määrä voidaan laskea kaavalla 3.

On myös varmistuttava säilönnän erottamisesta muusta prosessista. Venttiilien pitävyys ja varsinkin tulistetun höyryn venttiilin pitävyys, on varmistettava. Ilman

onnistunutta erotusta ei säilöntää voida suorittaa. Venttiilien pitävyys voidaan varmistaa umpilaipolla osassa järjestelmää.

Jäätymisvaaraan valmistaudutaan laitoksessa, sillä ympäristön kylmyys pääsee vaikuttamaan höyrystimeen ja muihin linjoihin paljon vahvemmin kuin normaalissa käytössä. Jäätymistä estää kattilalaitoksen putkistojen ja höyrystimen eristys ja säilöntäliuoksen jatkuva lämmitys. Jäätymistä voi tapahtua eristämättömissä jäähdytysvesi-, näyte- ja mittauslinjoissa yms.

Säilöntälaitteiden toiminta, huolto ja kunnostus varmistetaan ennen säilöntää. Näitä laitteita ovat varoventtiili, säilöntänesteen kierrätyspumppu, levylämmönvaihdin, höyrynsäätöventtiili, lämmönmittausanturit, kemikaalien syöttö laitteiden ja paisunta-astia.

Säilönnän etävalvonta ei kuulu säilöntätarjouksiin, ja niiden asentaminen ennen säilöntää on suotavaa. Valvottavia suureita ovat säilöntänesteen ja lämmitysfluidin lämpötila ja paine, säilöntäkemikaalien konsentraatiot, pH ja happipitoisuus.

Syöttövesipumppu säilötään kuivana ja sen sisälle ruiskutetaan korroosiosuojaöljyä. Pumpussa olevat jäähdytys- ja voiteluvesilinjat erotetaan ja tyhjennykset jätetään auki. Jäähdytys- ja voiteluvesilinjat tyhjennetään, mikäli vaarana on niiden jäätyminen.

Kattila täytetään hitaasti ja rauhallisesti tulistimia myöten säilöntävedellä. Kattilan omaa syöttövesipumppua käytetään täyttämiseen ja höyrypuolen täytössä voidaan tarvittaessa käyttää säilöntäpumppua. Höyryn lauhtumisen aiheuttamaa alipainetta on vältettävä. Linjan korkeimmassa kohdassa pidetään ilmaus auki, jotta vesi pääsee syrjäyttämään linjassa olevan ilman, jos kattila on ollut remontissa.

Kattilan ollessa käytössä sen siirtäminen säilöntään onnistuu helpommin kuin remontista siirryttäessä säilöntään. Laitoksen sammuttamisen ja täyttämisen yhteydessä sen sisälle ei saa päästää ilmaa. Ilman ja erityisesti ilmataskujen poistaminen on hankalaa säilöntään siirryttäessä, toisin kuin höyryn, joka lauhtuu ja muodostuu vedeksi.

Vaikka säilöntään siirrytään mahdollisimman nopeasti kattilan sammutettua, on metallipintoja jäähdytettävä, erityisesti tulistimia. Turhien lämpöjännitysten välttämiseksi säilöntänesteen ja metallin välinen lämpötilaero tulee olla 65 °C:n sisällä.

Tulistimien täytössä niiden massa kasvaa veden tilavuuden verran. Kattilan tulistimien kannakkeita ei suunnitella tällaiselle kuormalle ja niiden kestävyys on varmistettava kattilan toimittajalta.

Kuivasäilöntä

Kattilan kuivasäilöntään siirryttäessä varmistetaan erotusventtiilien pitävyys käyttöön jääviin linjoihin. Venttiilien pitävyys, ja varsinkin tulistetun höyryn venttiilin pitävyys, on varmistettava. Ilman onnistunutta erotusta ei säilöntää voida suorittaa. Venttiilien pitävyys voidaan varmistaa umpilaipolla osassa järjestelmää

Säilöntälaitteiden toiminta, huolto ja kunnostus varmistetaan ennen säilöntää. Näitä laitteita ovat joustoletkut ja yhteet kuivaimista, puhallin, lämmitin, suodattimet, kuivausteho ja kosteusmittarit.

Säilönnän etävalvonta ei kuulu säilöntätarjouksiin, ja valvontalaitteet asennetaan ennen säilöntää. Valvottavia suureita ovat puhallusilman suhteellinen kosteus niin puhaltimien painepuolella kuin ulospuhalluspisteissäkin, säilöttävän linjan pieni ylipaine ja puhallusilman kastepiste ulospuhalluspisteissä.

Syöttövesipumppu ei ole kuivailmapuhalluspiirissä, vaan se säilötään ympäristön ilmalla. Pumppu tyhjennetään ja sen sisälle ruiskutetaan korroosiosuojaöljyä. Pumpussa olevat jäähdytys- ja voiteluvesilinjat erotetaan ja tyhjennykset jätetään auki. Jäähdytys- ja voiteluvesilinjat tyhjennetään, mikäli vaarana on niiden jäätyminen.

Kuivasäilönnässä on varmistuttava kattilan täydellisestä tyhjentämisestä ja kuivaamisesta. Kattilan päähöyrylinjat, höyrystin ja syöttövesilinjat tyhjennetään täydellisesti vedestä. Tyhjennys suoritetaan mahdollisimman korkeassa paineessa ja laitoksen jälkilämpöä hyödyksi käyttäen. Tyhjentäminen voi olla työlästä ja hankalaa, ja apuna voidaan käyttää tyhjäpumpua, venturiputkia ja puhaltimia tyhjennysliitännöissä. Erillisiä tyhjennysyhteitä voidaan joutua asentamaan paikkoihin, joista ei saada vettä tyhjennettyä.

Tyhjennyksessä syntyy paljon vettä ja höyryä, joiden viemärointi ja puhallus on suoritettava turvallisesti. Kuuma vesi ja höyry ohjataan turvallisesti pois järjestelmästä. Lisäksi valmistaudutaan siihen, että viemärointi on tarpeeksi suuri ja kestävä ottamaan veden massan ja lämpötilan vastaan.

Kuivan ilman puhallus voidaan aloittaa välittömästi, kun se on mahdollista. Lämpöjännitysten ongelma on pieni verrattuna märkäsäilöntään, sillä ilman ominaislämpökapasiteetti on yli neljä kertaa pienempi veteen verrattuna. Ilma ei sido järjestelmän lämpöä niin paljon, että lämpöjännitykset muodostuisivat ongelmaksi.

Ilman puhallus suoritetaan päähöyrylinjasta alkaen, ja ulospuhalluspisteistä mitattaessa suhteellista kosteutta tavoitearvo on $\leq 30\%$. Venttiiliä voidaan tämän jälkeen kuristaa, jolloin puhallus suuntautuu kosteammille putken osuuksille. Venttiileitä voidaan kuristaa vain järjestyksessä alkaen kuivailmapuhaltimelta.

Ilman massa ei tuota putkien ja tulistimien kannatuksille ongelmaa. Kuivan ilman saavuttaminen kaikki ulospuhalluspisteet voi kestää jopa 48 tuntia. Järjestelmän kuivauksessa valmistaudutaan olemaan kärsivällisiä.

6.7 Toimenpiteet säilönnän aikana

Seuraavassa esitellään toimenpiteet, joita on otettava huomioon säilönnän aikana. Luvun vertailua varten on liitteeseen 4 tehty visuaalinen taulukko, josta voidaan helpommin vertailla säilöntöjen toteutusta.

Märkäsäilöntä

Kun säilöntä on saatu toimimaan, voidaan kattilan polttoainelinjojen inertoiminen aloittaa. Inertoimisessa ei käytetä höyryä. Typpi- tai muu inerttikaasu on polttoainelinjojen puhalluksessa käytettävä kaasu. Inertoiminen on suoritettu, kun ulospuhalluksessa polttokaasun konsentraatio on $< 0,5\%$.

Märkäsäilönnässä kemikaalien konsentraation on oltava kemikaalikohtaisissa arvoissa. Kemikaalien liian pieni annostus ei tuota optimaalisinta säilöntää, ja liian suuri annostus ei ole vain taloudellisesti ja ekologisesti epäjohdonmukaista, vaan voi aiheuttaa myös ylimääräistä korroosiota.

Tarjotussa märkäsäilönnässä lämpötila ylläpidetään 80°C:ssa. Tulipesän puolella ilmankosteus ei pääse tiivistymään lämmön ansiosta tulipinnoille. Säilöntänestettä kierrätetään, jotta lämpötila saadaan jakaantumaan tasaisesti koko kattilan alueelle, ja samalla estetään mahdollinen jäätymisuhka.

Kattilan säilöntänesteestä otetaan näytteitä, millä varmistutaan säilöntäkemikaalien konsentraatiosta. Näytteitä otetaan säilönnän ensimmäisellä kuukaudella tiheämmin, minkä jälkeen niitä voidaan harventaa. Ensimmäisen kuukauden aikana näytteitä otetaan viikoittain ja sen jälkeen kerran kuukaudessa. Näytteiden laatu on oltava kulloisenkin kemikaalin suositeltavalla tasolla ja arvot ovat pitkäaikaisessa säilönnässä pH 10–10,5 ja happipitoisuus 0,01 mg/l.

Säilöntänesteen kemikaalisisällön vuoksi ei säilöntänestettä saa päästää vuotamaan. Säilöntälinjojen liitäntöjä tarkistetaan tarkistuskiirroksilla. Alkalointikemikaalina käytettyä ammoniakkia ei saa päästää vuotamaan, sillä se on vahva emäs ja näin ollen syövyttävä kemikaali. Hapensidontakemikaalina usein käytettyä hydratsinia ei myöskään saa päästää vuotamaan, sillä se luokitellaan myrkylliseksi ja syöpää aiheuttavaksi kemikaaliksi.

Paisunta-astiaa käytettäessä, on se tarkistettava myös valvontakierroksilla. Säiliöstä tarkistetaan esipaine tai, että väkevää hapensidontaliuosta on avoimessa paisunta-astiassa

Kuivailmasäilöntä

Kun säilöntä on saatu toimimaan, voidaan kattilan polttoainelinjojen inertoiminen aloittaa. Inertoimisessa ei käytetä höyryä. Typpi- tai muu inerttikaasu on polttoainelinjojen puhalluksessa käytettävä kaasu. Inertoiminen on suoritettu, kun ulospuhalluksessa polttokaasun konsentraatio on < 0,5 %.

Kuivailmasäilönnässä valvotaan puhaltimien painepuolen ja ulospuhalluspisteiden suhteellista ilmankosteutta. Kosteuden tulee olla vähemmän kuin 30 %, jolloin korroosioreaktio käytännössä loppuu kokonaan. Ilman suhteellista kosteutta seurataan myös savu- ja ilmakehässä. Ilman kastepisteen tulee olla alle

–23 °C. Laitos jää ilman lämmönlähdettä ja talven pakkaset voivat laskea metalipintojen lämpötilan jopa pakkasen puolelle. Kuivasäilönnän vuodot eivät ole vaarallisia, sillä siinä ei käytetä kemikaaleja ja säilöntäfluidi on pelkkää ilmaa.

6.8 Toimenpiteet säilönnän purussa

Seuraavassa esitellään toimenpiteet, joita on otettava huomioon säilönnän jälkeen. Luvun vertailua varten on liitteeseen 4 tehty visuaalinen taulukko, josta voidaan helpommin vertailla säilöntöjen toteutusta.

Märkäsäilöntä

Polttoainelinjojen erotukset puretaan ja varmistutaan polttoaineen saatavuudesta ja laadusta. Märkäsäilöntäkemikaalien syöttö lopetetaan ja kemikaaliyhteiden linjat suljetaan. Kattilan säilöntävesi poistetaan huomioiden viemäröinnin mahdollisuus. Erotetusta säilöntäpiiristä puretaan mahdollisesti käytetyt umpilaipat. Laimaasti kemikaalia sisältää höyryä ulospuhallettaessa varmistutaan, ettei höyry aiheuta ihmisille tai luonnolle vaaraa eikä höyry tiivistyessään muodosta syövyttäviä sateita.

Kattilavesikemian on saavutettava normaalit arvot ennen kattilan liittämistä höyryverkkoon. Raahan voimalaitoksen kattilavesien ohjearvot ovat taulukossa 5.

TAULUKKO 5. Raahen voimalaitoksen syöttö- ja kattilavesien ohjearvot (43)

Kattilaveden ohjearvoja	
pH	9,0 – 9,1
Suora johtokyky	< 40 µS/cm
Silikaatti	< 0,5 mg/l
KMnO ₄ -luku	< 3 mg/l
Natrium + Kalium	8 mg/l
Syöttöveden ohjearvoja	
pH	9,0 – 9,5
Suora johtokyky	2 – 5 µS/cm
Kationi vaihdettu johtokyky	0,5 – 1,25 µS/cm
Happi	< 0,01 mg/l
Rauta	< 0,02 mg/l
Silikaatti	< 0,01 mg/l
Kovuus	< 0,1 °dH
KMnO ₄ -luku	< 2 – 5 mg/l
Amiini	1 – 2 mg/l
Höyryjen ohjearvosuosituksia	
pH	9,0 – 9,5
Suora johtokyky	2 – 5 µS/cm
Silikaatti	< 0,01 mg/l
Rauta	< 0,02 mg/l
Natrium + Kalium	< 0,01 mg/l
Lauhteiden ohjearvot	
Syöttövesi vaatimusten mukaisia	

Kuivasäilöntä

Polttoainelinjojen erotukset puretaan ja varmistutaan polttoaineen saatavuudesta ja laadusta. Säilöntäilman puhallus lopetetaan ja linjat suljetaan. Erotetusta säilöntäpiiristä puretaan mahdollisesti käytetyt umpilaipat. Säilönnän purussa erityistä huomiota kiinnitetään laitoksen ilmaamiseen. Koska kuivasäilönnän aikana laitos on ollut täysin kuiva, on se saatava hyvin täytettyä ja ilmattua syöttövedellä. Ilmaus voi olla hankalaa ja pitkäkestoista.

Täyttäminen suoritetaan rauhallisesti ja syöttöveden ollessa kuumaa kiinnitetään huomiota lämpöjännitysten minimoimiseen. Ilman liukeneminen syöttöveteen ja sieltä höyrypiiriin aiheuttaa metallipinnoille happikorroosiota. Ilman liukeneminen on kuitenkin vain väliaikaista käynnistyksen yhteydessä. Kattilavesikemian on saavutettava normaalit arvot ennen kattilan liittämistä höyryverkkoon. Raahen voimalaitoksen kattilavesien ohjearvot ovat taulukossa 5.

6.9 Säilönnän kustannukset

Laskettuja arvoja ei voida pitää täsmällisinä, sillä ne perustuvat vain arvioihin. Säilönnöissä on kustannuksia, joita ei ole järkevää vertailla, sillä niiden kustannukset ovat molemmissa säilönnöissä yhtäläiset tai niitä ei voida arvioida. Näitä kustannuksia ovat lähinnä valvontatyötunnit, koulutukset, perehdytykset, kunnossapito ja huolto.

Märkäsäilöntä

Suurimmat kustannukset syntyvät märkäsäilönnässä lähinnä laitehankinnoista, joita ei voida välttää. Kustannukset, jotka sisältyvät vain ensimmäiseen säilöntäkertaan, voidaan laskea hankintakustannuksiksi. Nämä koostuvat kemikaalipumppujen hankinnasta ja asennuksesta, paisuntasäiliöstä ja kemikaalisäiliöistä laitteineen (taulukko 6).

TAULUKKO 6. Märkäsäilönnän arvioidut laitehankintakustannukset

Laite	Hinta-arvio
Kemikaalin pumppausyksikkö, hapensidontakemikaali	2 500 €
Kemikaalin pumppausyksikkö, alkalointikemikaali	2 500 €
Kemikaalilyksiköiden asennuskustannukset	2 500 €
Paisuntasäiliö, 6 bar 1 500 l	2 500 €

Paisuntasäiliön koko lasketaan kaavalla 1. Kaavaan on arvioitu varoventtiilin avautumispaine ja paisunta-astian esipaine.

$$V = \frac{6\text{bar}}{6\text{bar}-3\text{bar}} \times \frac{0,79 \times 77\text{m}^3}{100} = 1,2166 \text{ m}^3$$

Märkäsäilöntäilaitteiden arvioiduksi hankinta- ja asennushinnaksi muodostuu noin 10 000 € + toimittajan tarjous säilönnän asennuksista.

Käytön aikaiset kustannukset koostuvat lämmityksestä, sähköstä, kemikaaleista ja lisävedestä.

Lämmityskustannukset voidaan laskea kaavalla 4. Lämmityksen arvioidut lämpölämmöt ovat 15 °C, ja Raahen Voimalla kaukolämmön hinta on 5,2 €/GJ.

$$\text{läm.kust} = kl_hinta \times m \times t \times c_p \times (T_1 - T_2) \quad \text{KAAVA 4}$$

kl_hinta = kaukolämmön hinta

m = veden massavirta

t = aika

c_p = veden ominaislämpökapasiteetti

T = lämpötila

$$\begin{aligned} \text{läm.kust} &= 5,2 \text{ €/GJ} \times 4,1 \text{ kg/s} \times 365 \text{ d} \times 24 \text{ h/d} \times 3600 \text{ s/h} \times (4,2 \text{ kJ/kgK}) \times 10^{-6} \times \\ &\quad (80-65)\text{K} \\ &= 42\,358 \text{ €} \end{aligned}$$

Sähkökustannukset syntyvät pumpun moottorista, jonka teho 7,5 kW. Pumppu käy ympäri vuoden. Raahen Voiman sähköenergian hinta on 58 €/MWh. Moottorin käyttämä sähköenergia voidaan laskea kaavalla 5.

$$\text{sähkökustannukset} = \Sigma \Phi \times t \times \text{sähköenergia} \quad \text{KAAVA 5}$$

Φ = moottorin teho

t = aika

sähköenergian hinta = 58 €/MWh

$$\text{sähkökustannukset} = 0,0075 \text{ MW} \times 365\text{d} \times 24 \text{ h/d} \times 58 \text{ €/MWh} = 3810,6 \text{ €}$$

Hapensidontakemikaalin kustannukset riippuvat säilöttävään veteen liuenneen hapen määrästä. Liuenneen hapen määrää on vaikea arvioida säilöntään siirryttäessä, mutta kemikaalin annostus nykyisellä syöttöveden happimäärillä on pientä. Suuntaa-antava annostelumäärä on viisinkertainen liuenneen hapen määrästä. Carbohydratsiinin hinta on noin 8 €/kg.

Ammoniakki kustannukset ovat noin 1 €/kg. Säilöntään tarvittava ammoniakkin määrä on noin 11,55 kg, jolloin hinnaksi muodostuu $1 \text{ €/kg} \times 11,55 \text{ kg} = 11,55 \text{ €}$.

Kemikaalikustannukset ovat lähestulkoon mitättömät verrattuna muihin kustannuksiin märkäsäilönnässä. Tämän vuoksi kemikaaleja ei ole järkevää arvioida käyttökustannuksiin.

Yhteensä relevantteja käyttökustannuksia märkäsäilönnässä kertyy kaukolämmöstä ja sähkönkulutuksesta. Kemikaalien kustannukset ovat merkityksettömiä. Märkäsäilönnän toteutukseen on vielä tilaajan asennettava kemikaalipumput, -säiliöt, paisunta-astia joiden hankintahinnat ovat noin 10 000 €. Jos laitehankinnat lasketaan ensimmäisen vuoden käyttökustannuksiin, ovat ensimmäisellä vuodella käyttökulut 56 800 €. Ilman laitehankintoja pelkät käyttökulut ovat $43\,000 \text{ €} + 3\,800 \text{ €} = 46\,800 \text{ €}$.

Kuivasäilöntä

Kuivasäilönnän alussa laitehankinnat koostuvat suhteellisen kosteuden mitta-reista. Ilman ulospuhalluspisteissä mitattavaa kosteutta mitataan kosteusmittareilla, joiden hinta on noin 100–500 €. Mittareita sijoitetaan useisiin ulospuhalluspisteisiin, jotka voidaan nähdä liitteestä 4. Mittareita asennetaan neljään paikkaan: tulistinten jälkeen, höyrystimen pohjalle, masuunikaasupatterin jälkeen ja syöttövesipumppua ennen. Lisäksi on oltava yksi kannettava kosteusmittari käytössä ja kastepistettä mittava laite. Kosteusmittareiden arvioitu laitehankintahinnat viidelle kappaleelle ovat

$$5 \times 400 \text{ €} = 2\,000 \text{ €}$$

Kuivailmasäilönnässä kustannukset koostuvat puhaltimien moottoreista ja ilman lämmityksestä. Moottorien tehot ovat 5,5 ja 119 kW, joiden lisäksi sähköä kuluttaa neljä 4 kW:n lämmitintä. Sähköenergian hinta Raahen Voimalla on 58 €/MWh. Sähkön vuosittaiset kustannukset voidaan laskea kaavalla 5.

$$\begin{aligned}\text{sähkön kustannukset} &= (0,0055 + 0,119 + 4 \times 0,004) \text{ MW} \times 365\text{d} \times 24\text{h/d} \times \\ &\quad 58 \text{ €/MWh} \\ &= 69\,352,92\text{€}\end{aligned}$$

Yhteensä relevantteja käyttökustannuksia kuivasäilönnässä kertyy puhaltimien moottoreiden ja lämmittimien sähkönkulutuksesta noin 69 500 €.

7 LOPPUSANAT

Opinnäytetyössä tilaaja halusi lisäinformaatioita höyrykattilan kuiva- ja märkäsäilönnästä. Tilaajalla oli tarjoukset vanhan kattila 3:n kuiva- ja märkäsäilönnästä ja työssä vertailtiin näitä tarjouksia. Työn pohjalta tilaajan on helpompi valita laitokselle sopivampi säilöntä. Säilöttävän kattilan suunniteltu käyttö on kerran vuodessa kahdesta kolmeen viikkoa aina muiden kattiloiden vuosihuoltojen yhteydessä.

Kattila voidaan säilöä molemmiin menetelmin pitkäaikaisesti, kunhan se toteutetaan alusta asti huolellisesti, tarkasti ja kunnolla. Säilönnän onnistuminen voidaan todeta vain uudelleenkäynnistytksen yhteydessä, sillä metallin korroosion kestoja ja sen etenemistä on vaikea todeta säilönnän aikana. Molemmissa säilöntämenetelmissä on hyvät ja huonot puolensa.

Suurimmat ongelmat säilönnöissä ovat talviajan kylmyys, jolloin vaarana on vesilinjojen jäätyminen. Jäätyminen on uhkana molemmissa menetelmissä. Eristämättömät näyte-, jäähdytys- ja mittauslinjat ovat jäätymiselle otolliset. Kattilan käynnistämistä ei voida suorittaa ilman luotettavia mittaustuloksia.

Kuivasäilönnässä järjestelmän täydellinen kuivaus on vaikeaa. Vesilukkomahdollisuuksia voi olla mahdoton poistaa ilman erillisiä tyhjennyslinjojen asennuksia. Märkäsäilönnässä ilman pääsy kattilaan tuottaa epäonnistuneen säilönnän, mutta normaalissa kattilan käytössä ei kattilan sisällä ole ilmaa. Kattilan oikeanlaisella täytöllä voidaan estää ilmaongelmat järjestelmässä.

Lähtötietomuistiossa (liite 1) olevat tavoitteet saavutettiin ja tilaaja sai hyvän perustan säilöntöjen toteutuksesta. Tilaajan on helppo perehtyä vertailemaan kuiva- ja märkäsäilönnän toteutusta ja käytännön vaatimuksia, joiden pohjalta säilöntämenetelmä valitaan.

LÄHTEET

1. Vuolteenaho, Juha 2014. Voimalaitosesittely. Sisäinen dokumentti. Raahen voima.
2. Vuolteenaho, Juha 2015. Käyttöpäällikkö, Raahen voima. Opinnäytetyöpala-
veri. 11.3.2015
3. Hellgrén, Matti – Heikkinen, Lauri – Suomalainen, Lauri 1996. Energia ja ym-
päristö. 2. painos. Helsinki: Opetushallitus.
4. Huhtinen, Markku – Kettunen, Arto – Nurminen, Pasi – Pakkanen, Heikki
1997. Hörykattilatekniikka. 2., tarkistettu painos. Helsinki: Edita.
5. The natural gas boiler burner. Boiler basics types. Saatavissa:
http://www.cleanboiler.org/Eff_Improve/Primer/Boiler_Basic_Types.asp. Ha-
kupäivä 3.4.2015.
6. Marttila, Seppo 2011. T350307 Hörykattilat 7op. Opintojakson luentomateri-
aali syksyllä 2011. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yk-
sikkö.
7. Ylikunnari, Jukka 2012. T350307 Hörykattilat 7 op. Opintojakson luentoma-
teriaalit syksyllä 2012. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yk-
sikkö.
8. The Feedtank and Feedwater Conditioning. Spirax sarco. Saatavissa:
[http://www2.spiraxsarco.com/resources/steam-engineering-tutorials/the-boi-
ler-house/the-feedtank-and-feedwater-conditioning.asp](http://www2.spiraxsarco.com/resources/steam-engineering-tutorials/the-boi-
ler-house/the-feedtank-and-feedwater-conditioning.asp). Hakupäivä 5.4.2015.
9. Kattilan lämmönsiirtimien rakenne ja toiminta. Knowenergy. Saatavissa:
[http://www.knowenergy.net/suomi/monipolttt_kattilat/7_lammonsiiirti-
met/frame.htm](http://www.knowenergy.net/suomi/monipolttt_kattilat/7_lammonsiiirti-
met/frame.htm). Hakupäivä 5.4.2015.
10. Mother's Alcohol Fuel Preheater. Mother earth news. Saatavissa:
[http://www.motherearthnews.com/renewable-energy/fuel-preheater-
zmaz80jفزraw.aspx](http://www.motherearthnews.com/renewable-energy/fuel-preheater-
zmaz80jفزraw.aspx). Hakupäivä 21.4.2015.

11. Voimalaitosten säilöntäselvitys. Energiatalouden yhdistys. Energiekonomiska Föreningen. Otaniemi.
12. Bieber, K.-H. – Bujak, W. – Bursik, A. – Euchenhofer, G. – Göstenkors, Th. – Hermann, B. – Hoppe, V. – Resch, G. – Strasse, P. 2009. VGB PowerTech. Guideline preservation of power plants. Toinen painos. Essen, Saksa. VGB PowerTech service GmbH.
13. SFS-EN ISO 8044. 2000. Metallien ja metalliseosten korroosio. Termit ja määrittelyt. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
14. Laitera, Satu 2002. Vesikemia voimalaitos prosessissa. Voimalaitosten kunnossapito. Tampereen messukeskus Pirkkahalli. Fortum power and heat
15. Sonninen, Risto 2008. Puutteellisen vedenkäsittelyn aiheuttamat vauriot kattilalaitoksilla. Luentomateriaali. ÅF-Consult Oy.
16. Siitonen, Pekka 2008. Korroosiokäsikirja. 4. painos. Passivointi ja korroosion ilmenemismuodot. Helsinki: KP-Media Oy.
17. Holloway, R.T. 2002. An asme research report. Consensus for the lay-up of boilers, turbine condensers, and auxiliary equipment. The American society of mechanical engineers. U.S.A..
18. Sonninen, Risto 2008. Höyryvoimalaitosten säilöntä. Powerpoint-diasarja. ÅF-Consult oy.
19. Harju, Pentti 2004. Lämmitys-tekniikan oppikirja. Oppilaan kirja. Penan Tietopus Ky.
20. Sonninen, Risto 2008. Voimalaitoksen vesikemian hallinta eri ajotilanteissa. Luentomateriaali. ÅF-Consult Oy.
21. Silvennoinen, Seppo – Höglund, Esa 1988. Luentomateriaali. Syöttövedenkäsittelyn kurssi. Säilöntä. EKONO Oy.
22. DT group Desiccant technologies group 2012 – 2014. Saatavissa: <http://des-tech.eu/how-desiccant-dehumidifier-works/>. Hakupäivä 9.3.2015.

23. Environmental Temperature Control Systems for Corrosion Prevention Applications. Bry-air. Saatavissa: <http://bry-air.com/casestudies/temperature-control-systems-corrosion-prevention/>. Hakupäivä 8.3.2015.
24. Ilmankosteus. Tekeville. Saatavissa: <http://www.tekeville.fi/ilmankosteus>. Hakupäivä 4.3.2015.
25. McKelroy, Rondall – Kokel, Zachery. Preservation, storage, and maintenance manual, well service pumps. Saatavissa: <http://www.fmctechnologies.com/en/FluidControl/OnlineService/~media/FluidControl/Well%20Svc%20Pump/pdf/WSP%20Preservation%20Storage%20Maintenance%20-%20PSM50001611.ashx>. Hakupäivä: 17.3.2015
26. Heinz P. Bloch. Protection of Equipment During Storage, Standby and Decommissioning. Saatavissa: <http://www.machinerylubrication.com/Read/448/equipment-storage-standby> Hakupäivä: 17.3.2015
27. Sonninen, Risto 2015. Senior advices, ÅF-Consult. Puhelinhaastattelu 24.4.2004.
28. Kaukolämmön kiertoveden käsittely 2007. Energiateollisuus ry. Saatavissa: http://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&sqi=2&ved=0CB4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fenergia.fi%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Fsuositusk3_2007.pdf&ei=IFg3VfPdEcSosAGQ7IGoCA&usg=AFQjCNFZJuqDgy-SWRLtc5p6-p1i4BB8NfA&sig2=Kt_h-30W5mCsPAj-HzURRSw&bvm=bv.91071109,d.bGg. Hakupäivä 22.4.2015.
29. Aakko, Jarkko 2015. Käyttöpäällikkö, Kanteleen Voima. Puhelinhaastattelu 23.4.2004.
30. Holgren, Alén 2008. Korroosiokäsikirja. Ympäristöolosuhteiden luokitus. Helsinki. KP-Media Oy.
31. OVA-ohje: ammoniakki. Työterveyslaitos. Saatavissa: <http://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0C>

- B4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ttl.fi%2Fova%2Fam-
moni.pdf&ei=Tmo3VYXtJcHysAH_k4HwAQ&usg=AFQjCNFXRmrvtVeP2jG9
jWYf89qxi4Y_EA&sig2=dfxgmM7rPsNAhrd7dz9gtQ. Hakupäivä: 22.4.2015
32. OVA-ohje: natriumhydroksidi. Työterveyslaitos. Saatavissa:
[http://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CB4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ttl.fi%2Fova%2Fam-
moni.pdf&ei=Tmo3VYXtJcHysAH_k4HwAQ&usg=AFQjCNFXRmrvtVeP2jG9
jWYf89qxi4Y_EA&sig2=dfxgmM7rPsNAhrd7dz9gtQ](http://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CB4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ttl.fi%2Fova%2Fam-
moni.pdf&ei=Tmo3VYXtJcHysAH_k4HwAQ&usg=AFQjCNFXRmrvtVeP2jG9
jWYf89qxi4Y_EA&sig2=dfxgmM7rPsNAhrd7dz9gtQ). Hakupäivä: 2.4.2015.
33. Hydro-X E10. Tuote-esite. Hyxo oy. Saatavissa: <http://issuu.com/hyxo/docs/kattilalaitosymparisto?e=6251052/2684639>. Hakupäivä: 23.4.2015
34. Protecsol 770P. 2013. Tuote-esite. Ashland Water Technologies.
35. Protecsol 649L. 2010. Tuote-esite. Ashland Water Technologies.
36. Protecsol 505. 2010. Tuote-esite. Ashland Water Technologies.
37. Märkäsäilöntäjärjestelmän toimitus K3 masuunikattilalle. Tarjous 20.12.2013.
Laatija Foster Wheeler. Tilaaja Raahen voima.
38. Kuivasäilöntäjärjestelmän toimitus K3 masuunikattilalle. Tarjous 20.12.2013.
Laatija Foster Wheeler. Tilaaja Raahen voima.
39. Hyöky, Eero 2015. Foster wheeler. Puhelinhaastattelu 24.4.2004.
40. 04807a. Pituusleikkaus, Masuunikaasuk. 175t/h. Sisäinen dokumentti. Raahen voima.
41. Kattila 3:n mitoitusdokumentti. Sisäinen dokumentti. Raahen voima.
42. Voimalaitos. K3 ja TG 02 Höyry ja syöttövesi Yleiskaavio. Sisäinen dokumentti. Raahen Voima.
43. Leila, Suomela 2012. Syöttö- ja kattilavesien ohjeavot. Sisäinen dokumentti. Raahen Voima.

LÄHTÖTIETOMUISTIO

Tekijä Arto Latvala _____

Tilaaja Raahen voima _____

Tilaajan yhdyshenkilö ja yhteystiedot Juha Vuolteenaho, puh. 020 59 21 571 _____

Työn nimi Kattila 3:n säilöntä _____

Työn kuvaus Opiskelija antaa tilaajalle suosituksia kuiva- märkäsäilönnän osalta. Mitä säilöntämenetelmät vaativat ja miten ne toimivat. _____

Työn tavoitteet

Tilaaja saa lisäinformaatiota omaan käyttöön kattila 3:n säilönnän toteutukseen ja tilauksen valitsemisen helpottamiseen. _____

Tavoiteaikataulu Työ valmis 29.5.2015 _____

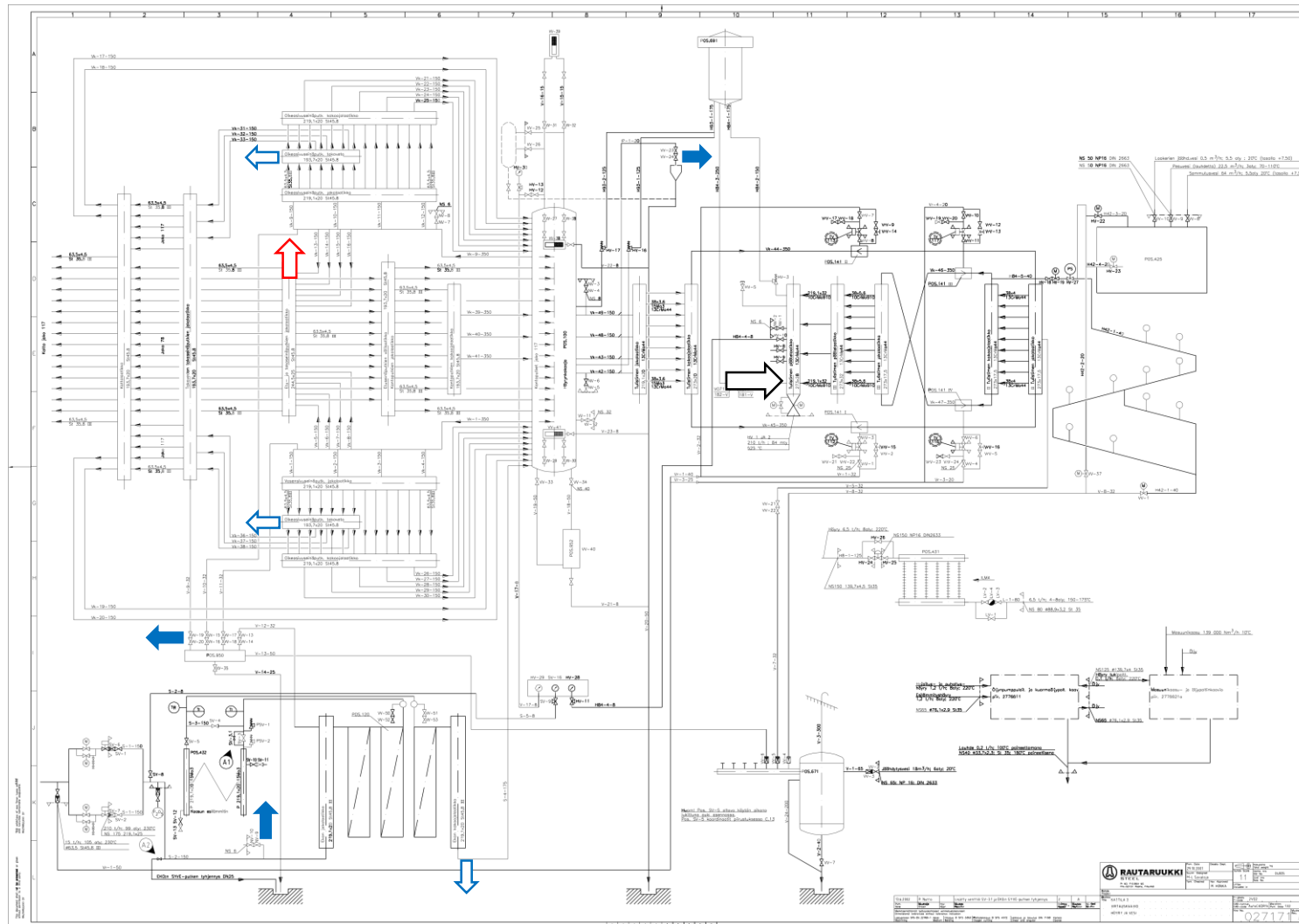
Päiväys ja allekirjoitukset _____

Voimalaitoksilla yleisesti käytettyjä teräsmateriaaleja (12, s. 14)

Material no.	EN designation	ASTM Grade / short designation	(former DIN designation)	ASTM (comparable)	Cr content %
Ferritic steels					
1.0345	P235 GH		St 35.8	A 53 / A 106	
1.0425	P265 GH		St 45.8	A 192 / A 106	
Ferritic / bainitic steels					
1.5415	16Mo3	T/P 11	15 Mo 3		< 0.3
1.7335	13CrMo4-5	T/P 12	13 CrMo 44	A 213 / A 335	0.7-1.15
1.7745	15CrMoV5-10	----			1.1-1.4
1.6368	15NiCuMoNb5-6-4	WB 36	15 NiCuMoNb 5		
1.7380	10CrMo9-10	T/P 22	10 CrMo 9 10	A 213 A 335	2-2.5
----	HCM2S	T/P 23		A 213 A 335	1.9-2.6
1.7378	7CrMoVTiB10-10	T/P 24		A 213 A 335	2.2-2.6
Martensitic steels (9-12 % Cr)					
1.4922	X20CrMoV11-1	X20	X20 CrMoV 12 1		10-12.5
1.4903	X10CrMoVNb9-1	T/P91	X10 CrMoVNb 9 1	A 213 A 335	8-9.5
1.4905	X11CrMoWVNb9-1-1	E911	X11 CrMoWVNb 9 1		8.5-9.5
1.4901	X10 CrWMoVNb9-2	T/P92	X10 CrWMoVNb 9 2	A 335	8.5-9.5
		NF616			
----	X12CrCoWVNb12-2-2	VM12SHC			11,5
		P122			
Austenitic steels (> 12 % Cr)					
1.4910	X3CrNiMoBN17-13-3	TP 316N		A 213	16-18
1.4907	X10CrNiCuNb18-9-3	Super 304 H			17-19
		DMV 304 H Cu			
1.4982	X10CrNiMoMnNbVB15-10-1	Esshete 1250		A 213	14-16
1.4908	X6CrNiNb18-10	TP 347H		A 213 A 312	17-20
1.4952	X6CrNiNbN25-20	HR3C			24-26
		310N			
1.4877	X6NiCrNbCe32-27	AC66	X7 NiCrNbCe 32 27		26-28
Ni-based materials					
2.4663	NiCr23Co12Mo	Alloy 617			20-23
Other Ni-based materials are still subject to qualification and thus not qualified as construction material.					

KUIVA- JA MÄRKÄSÄILÖNNÄN LIITÄNNÄT

LIITE 3/1



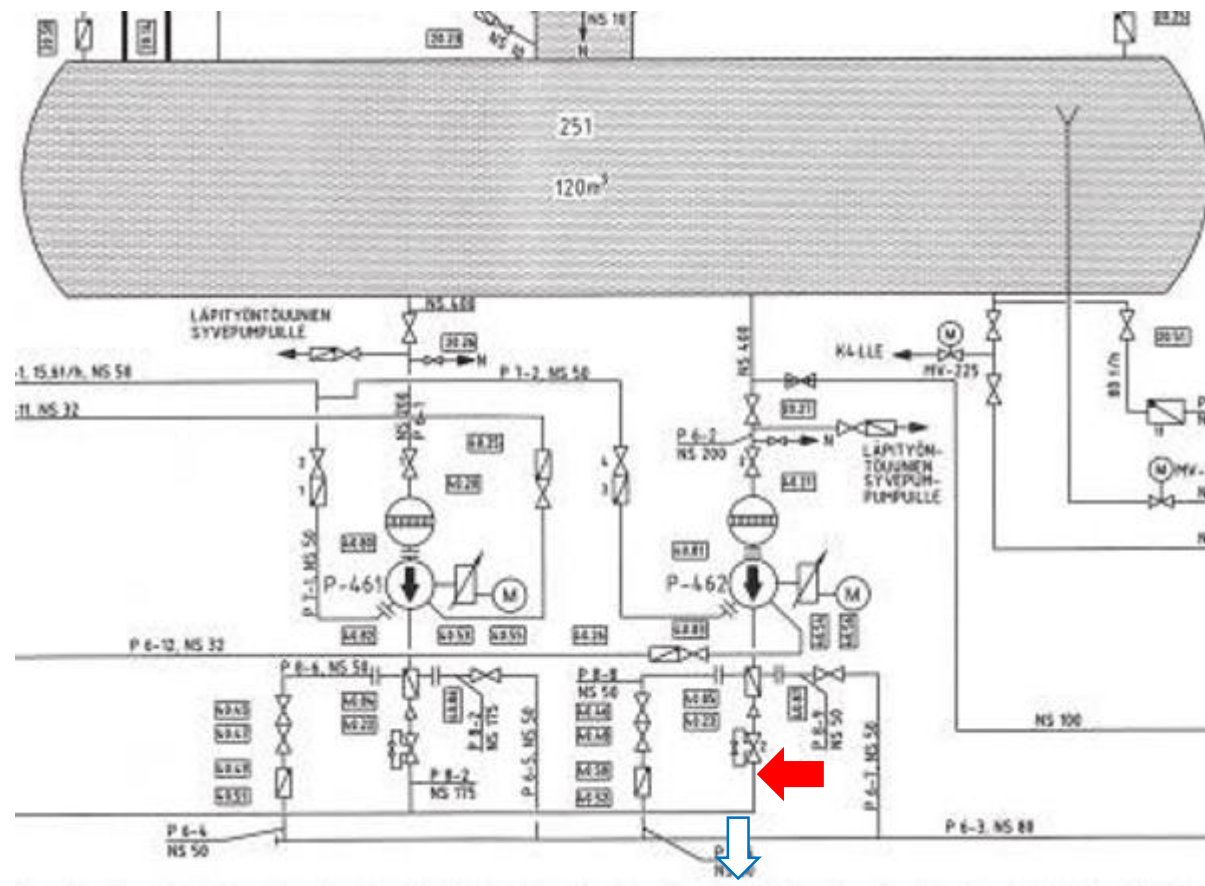
Märkä- ja kuivasäilönnän paineyhde

Märkäsäilönnän paineyhde

Märkäsäilönnän paluuyhde

Ilman ulospuhallus ja mittaus

Uusi liitanta ilman ulospuhallukselle



Toimenpiteet, jotka otettava huomioon ennen säilöntään siirryttäessä ja siihen siirtyessä

	Märkäsäilöntä	Kuiva säilöntä
Säilöntäfluidi	<ul style="list-style-type: none"> Varmistettava että happivapaata syöttö- vettä on tarjolla riittävästi > 77 m³. Kattilan oma syöttövesisäiliö on riittävä. 	<ul style="list-style-type: none"> Varmistettava että säilöntäilman imu ei ole erityisen kosteassa paikassa. Kattilaveden viemärointi kapasiteetti
Kemikaalit	<p>Varmistettava että kemikaaleja on käytettävissä tarpeeksi.</p> <ul style="list-style-type: none"> Alkalointikemikaali niin, että saavutetaan 10–10,5 pH (n. 11,55 kg ammoniakki) Hapensidontakemikaalia, jotta saavutetaan normaalin syöttöveden happipitoisuus 	Ei kemikaaleja
Tarkastus / huolto	<ul style="list-style-type: none"> Kierrätyspumppu Kemikaalipumput (Mahdollinen paisunta-astia) Levylämmönvaihdin Höyrynsäätöventtiili Varoventtiili Lämpötila-anturit Putkiyhteet 	<ul style="list-style-type: none"> Puhaltimien paineet ja tilavuusvirrat Puhaltimien kuivaustehot (RH<30%) Joustoyhteet Lämmittimet (4kpl) Putkiyhteet ja adapterit (kastepiste <-23°C)
Prosessin erotus	<ul style="list-style-type: none"> Vesi- ja höyrylinjojen erotus muusta prosessista mahdollisesti umpilapoin Polttoainelinjojen erotus ja inertointi 	<ul style="list-style-type: none"> Vesi- ja höyrylinjojen erotus muusta prosessista mahdollisesti umpilapoin Polttoainelinjojen erotus ja inertointi
Vesi- ja höyryputkistot (jatkuu seur. sivulla)	<ul style="list-style-type: none"> Ilma poistetaan, huom! Höyryn syrjäytys on helpompaa sillä sen syrjäytys ei tarvitse olla täydellistä. 	<ul style="list-style-type: none"> Vesi ja höyry poistetaan, huom! Veden syrjäytys helpompaa kuin höyryn

	<ul style="list-style-type: none"> Tarkistetaan säilöntäventtiilien asento ja täytetään putkistot vedellä 	<ul style="list-style-type: none"> Apuna voidaan käyttää venttureita ja tyhjöpumppua Tarkistetaan säilöntäventtiilien asento ja täytetään putkistot kuivalla ilmalla
Lämpöjännitykset ja -shokit	<ul style="list-style-type: none"> Mahdollisia jos kattilaa täytetään välittömästi sammuttamisen yhteydessä (varsinkin tulistimissa). Metallin ja veden lämpötilaero ei saa olla yli 65°C. 	<ul style="list-style-type: none"> Ei todennäköisiä
Säilöntäfluidin massa	<ul style="list-style-type: none"> Säilöntänesteen massa aiheuttaa ylimääristä kuormaa kannatuksille 	<ul style="list-style-type: none"> Säilöntäilma ei aiheita ylimääristä kuormaa
Muut huomiot	<ul style="list-style-type: none"> Höyryn syrjäyttäminen helpompaa kuin ilman Kemikaalien käsittely Säilönnän vienti etävalvontajärjestelmään 	<ul style="list-style-type: none"> Veden ja höyryn syrjäytys helpompaa laitoksen jälkilämpöä hyödyksi käyttäen Kosteuden poistaminen saattaa kestää 24h–48h Säilönnän vienti etävalvontajärjestelmään
Muut ongelmat	<ul style="list-style-type: none"> Höyrystinosan säilöntäfluidin kierrätys Mahdollinen jäätyminen niin säilöntä-kierrossa kuin prosessin jäähdytys- ja näytelinjoissa Ilmataskut 	<ul style="list-style-type: none"> Höyrystinosan säilöntäfluidin kierrätys Mahdollinen jäätyminen prosessin jäähdytys- ja näytelinjoissa Vesilukot Imuilma hyvin märkää Erityisen kova pakkanen saavuttaa kastepisteen

Toimenpiteet, joita otettava huomioon säilönnän aikana

	Märkäsäilöntä	Kuiva säilöntä
Kemikaalit	<ul style="list-style-type: none"> Konsentraatio oltava raja-arvoissa 	<ul style="list-style-type: none"> Ei kemilaaleja
Valvonta	<ul style="list-style-type: none"> pH 10 – 10,5 happipitoisuus < 0,01 mg/l Lämpötila > 80 °C (estetään jäätyminen) Säilönnän kierrätys (Paisunta-astia) 	<ul style="list-style-type: none"> Ilman suhteellinen kosteus puhaltimien painepuolella ja ulospuhalluspisteissä ≤ 30 % (Mahdollinen kastepisteen seuranta < –23 °C)
Vuodot	<ul style="list-style-type: none"> Vaarallisia kemikaalien takia 	<ul style="list-style-type: none"> Ei vaarallisia
Muut huomiot	<ul style="list-style-type: none"> Savukaasu- ja ilmakehä eivät mukana säilönnässä → luvo ei mukana Höyrytimen ja tulistinten savukaasupuoli on säilönnässä säilöntänesteen lämpötilan avulla > 80 °C Höyrystinosan fluidin kierrätys 	<ul style="list-style-type: none"> Savukaasu- ja ilmakehä ovat säilönnän piirissä ja asennuksesta riippuen myös luvo Höyrystinosan fluidin kierrätys Imuilma hyvin märkää E erityisen kova pakkanen saavuttaa kastepisteen

Toimenpiteet joita otettava huomioon säilönnän jälkeen

	Märkäsäilöntä	Kuiva
Kemikaalit	<ul style="list-style-type: none">• Syöttö lopetetaan ja linjat suljetaan	<ul style="list-style-type: none">• Ei kemikaaleja
Prosessin erotus	<ul style="list-style-type: none">• Säilöntäventtiilit suljetaan• Linjat tyhjennetään nesteinä ja puhalletaan höyrynä• Mahdollisesti käytetyt umpilaipat poistetaan	<ul style="list-style-type: none">• Säilöntäventtiilit suljetaan• Mahdollisesti käytetyt umpilaipat poistetaan
Kattilavesikemia	<ul style="list-style-type: none">• Tavoitettava normaaliarvot ennen höyryverkkoon liittämistä	<ul style="list-style-type: none">• Tavoitettava normaaliarvot ennen höyryverkkoon liittämistä
Muuta huomioita	<ul style="list-style-type: none">• Käynnistyksessä kuluu normaalia enemmän puhdasta vettä	<ul style="list-style-type: none">• Laitos on täytettävä uudestaan syöttövedellä ja käynnistyksessä kuluu normaalia enemmän puhdasta vettä